

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**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Б.І. Гнатик, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; В.І. Жданов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, доц.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.Г. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Г.П. Міліневський, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, проф.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Є.Ю. Таран, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; Т.В. Пастушенко, канд. філол. наук, доц.; Т.А. Мірончук, канд. філол. наук, доц.

Іноземні члени редакційної колегії:

М. Бур'яник, Шелл Глобал Солюшнс Інтернешнл, Нідерланди; Л. Верник, Нафтова корпорація Маратон, США; А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, М. Короновський, Московський державний університет імені М.В. Ломоносова; Росія, Д. Ленц, Університет Нью-Брансвік, Канада; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаса Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський Державний Технічний Університет, Казахстан; Д. Робертс, Стаффордширський університет, Велика Британія; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; М. Феді, Неапольський Університет Федеріко II, Італія; О. Ханчук, Далекосхідний геологічний інститут, Росія

Адреса редколегії

03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, ННІ "Інститут геології",
☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net

Затверджено

Вченою радою ННІ "Інститут геології"
05 квітня 2016 року (протокол № 12)

Атестовано

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

Зареєстровано

Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09

Засновник
та видавець

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

Адреса видавця

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

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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 Yu. Tymchenko

EXECUTIVE EDITOR

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

EDITORIAL BOARD**Ukrainian members:**

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

Foreign members:

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

Address

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

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
April 05, 2016 (Minutes # 12)

Certified by the

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

Certified by the

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

Founded and published by

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

Address:

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

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Григорчук К., Гнідець В., Кохан О.

Геолого-палеоокеанографічні умови седиментації олігоцен-нижньоміоценових (майкопських) відкладів Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну6

Матіщук О.

Палеогеографічні особливості формування метатеригенних відкладів глеуватської світи Криворізької структури.....13

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Сукач В., Курило С., Грінченко О.

Тоналіт-тронд'єміт-гранодіоритові (ТТГ) асоціації Середньопридніпровського Архейського кратону20

Шнюков С., Осипенко В.

Проскурівський масив лужних порід (Український щит): новий геохімічний банк даних28

ГЕОФІЗИКА

Продайвода Г., Кузьменко П., Вижва А.

Моделювання годографу відбитих хвиль для сильно анізотропного геологічного середовища з горизонтальною границею35

Главацький Д., Бахмутов В., Богуцький А., Волошин П.

Петромагнетизм і палеомагнетизм субаеральних відкладів розрізів Бояничі і Коршів (Волинська височина)43

Кравець С., Малицький Д., Асташкіна О., Махніцький М.

Динамічні геотемпературні ефекти та локальна сейсмічність Закарпаття52

Рибалка С., Карпенко О.

Колекторські властивості теригенних порід на великих глибинах центральної частини Дніпровсько-Донецької западини56

Скакальська Л., Назаревич А.

Узагальнені співвідношення для методики прогнозування водонафтогазонасиченості порід розрізів свердловин60

Несіна Н.

Поширення пізньосерпухівських біогермів у південно-східній частині Доно-Дніпровського прогину (за результатами сейсмофаціального аналізу та узагальнення геолого-геофізичних матеріалів).....70

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Рудько Г., Курило М., Бала В.

Співставлення критеріїв визначення та ознак класифікації запасів і ресурсів у вітчизняній та міжнародній практиці геолого-економічної оцінки на прикладі родовищ вугілля76

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Рева М.

Супутньо-пластові води в Східному нафтогазовому регіоні України як джерело небезпеки або цінний ресурс81

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Grygorchuk, k., Gnidets, V., Kokhan, O.

Oligocene – Early Miocene (Maykop) deposits in Karkinite North-Crimean sedimentary basin:
geological and paleo-oceanographic sedimentation setting6

Matischuk, O.

Hleyuvatska suite in Kryvorizhska structure: Paleogeographic features and genesis of metaterrigenous deposits.....13

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Sukach, V., Kurylo, S., Grinchenko, O.

Tonalite-thronemite-granodiorite (TTG) associations of the middle Dnieper Archean craton.....20

Shnyukov, S., Osypenko, V.

The Proskurov massif of alkaline rocks (Ukrainian Shield): new geochemical database.....28

GEOPHYSICS

Prodaivoda, G., Kuzmenko, P., Vyzhva, A.

Travel-times modeling of reflected waves for horizontal layer with strong anisotropy.....35

Hlavatskyi, D., Bakhmutov, V., Bogucki, A., Voloshyn, P.

Petromagnetism and palaeomagnetism of subaerial deposits of Boyanychi and Korshiv sections (Volhynian upland)....43

Kravets, S., Malytskyy, D., Astashkina, O., Makhnitskyy, M.

Dynamic geothermal effects and local seismicity of the Transcarpathian region52

Rybalka, S., Karpenko, O.

Central part of Dnieper-Donets basin: reservoir properties of deep-laid terrigenous rocks.....56

Skakalska, L., Nazarevych, A.

Generalized equations for method of predicting of rocks oil-gas-water-saturation in the wells open-casts60

Nesina, N.

Occurrence of the Late-Serpukhovian biogerms in the North-Eastern part of the Don-Dnieper sag
(based on seismic-facies analysis and geo-science literature review).....70

MINERAL RESOURCES

Rudko, G., Kurylo, M., Bala, V.

Geological and economic assessment of coal deposits: contrasting national and international taxonomies
in estimating reserves and resources76

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Reva, M.

Prodused water – source of pollution or valuable resource in the Eastern oil region, Ukraine81

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Григорчук К., Гнидец В., Кохан О.

Геолого-палеоокеанографические условия седиментации олигоцен-нижнемиоценовых (майкопских) отложений Каркинитско-Северокрымского осадочно-породного бассейна6

Матищук А.

Палеогеографические особенности формирования метатерригенных отложений глееватской свиты Криворожской структуры13

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Сукач В., Курило С., Гринченко А.

Тоналит-трондьемит-гранодиоритовые (ТТГ) ассоциации Среднеприднепровского архейского кратона20

Шнюков С., Осипенко В.

Проскуровский массив щелочных пород (Украинский щит): новый геохимический банк данных28

ГЕОФИЗИКА

Продайвода Г., Кузьменко П., Выжва А.

Моделирование годографа отраженных волн для сильно анизотропной геологической среды с горизонтальной границей35

Главацкий Д., Бахмутов В., Богуцкий А., Волошин П.

Петромагнетизм и палеомагнетизм субазральных отложений разрезов Боянычи и Коршев (Волынская возвышенность)43

Кравец С., Малыцкий Д., Асташкина А., Махницкий Н.

Динамические геотемпературные эффекты и локальная сейсмичность Закарпатского региона52

Рыбалка С., Карпенко А.

Коллекторские свойства терригенных пород на больших глубинах центральной части Днепровско-Донецкой впадины56

Скальська Л., Назаревич А.

Обобщенные соотношения для прогнозирования водонефтегазонасыщенности пород разрезов скважин60

Несина Н.

Распространение позднесерпуховских биогермов в юго-восточной части Доно-Днепровского прогиба (по результатам сейсмофациального анализа и обобщения геолого-геофизических материалов)70

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рудько Г., Курило М., Бала В.

Сопоставление критериев определения и признаков классификации запасов и ресурсов в отечественной и международной практике геолого-экономической оценки на примере месторождений угля76

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Рева М.

Попутно-пластовые воды в Восточном нефтегазовом регионе Украины как источник загрязнения или ценный ресурс81

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.863 /477.9/

К. Григорчук, д-р геол. наук, пров. наук. співроб.
E-mail: kosagri@ukr.net;

В. Гнідець, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: vgnidec@mail.ru;

О. Кохан, інж. II кат.
E-mail: kohanom8@gmail.com

відділ седиментології провінцій горючих копалин НАН України,
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
тел.: +38(032)2634161
вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна

ГЕОЛОГО-ПАЛЕООКЕАНОГРАФІЧНІ УМОВИ СЕДИМЕНТАЦІЇ ОЛІГОЦЕН-НИЖНЬОМІОЦЕНОВИХ (МАЙКОПСЬКИХ) ВІДКЛАДІВ КАРКІНІТСЬКО-ПІВНІЧНОКРИМСЬКОГО ОСАДОВО-ПОРОДНОГО БАСЕЙНУ

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

Метою роботи є дослідження літологічних особливостей осадового комплексу олігоцен-ранньоміоценового віку в межах Каркінітсько-Північнокримського басейну та реконструкція умов його осадонагромадження. Методика включає літолого-фаціальний, літомологічний та седиментолого-палеоокеанографічний аналізи.

Результати. Встановлено, що літологічна структура розрізу майкопської серії представлена перешаруванням глинистих, алевроитових та псамітових літотипів, що групуються в глинисті, змішані (аргіліти, алевроліти, пісковики у приблизно рівних кількостях) та алевроліто-піщані літміти. Кластогенні літміти субрегіонального поширення фіксують великі регресивні епізоди седиментації та відіграють роль стратиграфічних реперів. Вперше, за результатами комплексних літогенетичних досліджень, реконструйовано обстановки осадонагромадження кластогенних горизонтів олігоцену-раннього міоцену в межах північно-західного шельфу Чорного моря та прилеглих суходолів, побудовано седиментаційні моделі для окремих вікових інтервалів та встановлено характер просторово-вікового поширення різногенетичних утворень. Встановлено, що основними типами піщано-алевролітових акумулятивних тіл є бари, бар'єрні острови та конуси виносу.

Практична значимість. Вивчення особливостей літологічної будови товщі, створення седиментаційних моделей сприятиме уточненню певних питань стратиграфічного характеру, з'ясуванню просторово-вікового поширення осадових тіл різного складу та генезису. Усе це слугуватиме геологічною (літогенетичною) основою для більш обґрунтованого прогнозу просторово-вікового поширення нафтогазоперспективних об'єктів.

Ключові слова: північно-західний шельф Чорного моря, олігоцен-нижньоміоценові (майкопські) відклади, палеоокеанографія, алювіально-дельтова система, конус виносу, бар'єрний острів.

Вступ. Відклади олігоцен-нижньоміоценової (майкопської) товщі – один з найбільш перспективних комплексів Причорноморсько-Кримської нафтогазоносною області України. Промислова нафтогазоносність цих утворень доведена в Азовському морі на Стрілковій, Бейсугській та Морській площах [1]. Газопрояви та газові поклади відомі на Західно-Бейсугській, Невеликій структурах. У Рівнинному Криму у розробці знаходиться Джанкойське газове родовище. Відкриття Голіцинського, Південно-Голіцинського, Шмідтівського родовищ, отримання промислових припливів газу на Кримській та Міжводненській площах підтверджують значний потенціал майкопських відкладів і в межах північно-західного шельфу Чорного моря.

Особливості геології майкопських нашарувань Чорноморсько-Кримського регіону вивчалися численними колективами геологів Інституту геологічних наук (ІГН) та Інституту геології і геохімії горючих копалин (ІГГК) НАН України, УкрДГРІ, ВО "Кримгеологія" (ДП "Південьгеоцентр"), ДП "Науканафтогаз" та ін. Серед друкованих праць останнього часу, слід відзначити фундаментальні монографії [2, 8, 9, 10]. У цих роботах розкрито питання геодинамічних умов формування, наведено детальну стратиграфічну, літологічну та мінералогічно-петрографічну характеристику олігоцен-нижньоміоценових утворень Рівнинного Криму, Причорномор'я, північно-західного (Одеського) та Прикерченського шельфів Чорного моря. Також викладено результати аналізу просторово-вікового поширення піщано-алевролітових горизонтів товщі, визначено напрямки подальших геологорозвідувальних робіт на нафту та газ. Втім, не дивлячись на висвітлення у згаданих роботах такого широкого кола питань, седиментолого-

палеоокеанографічні аспекти формування майкопських відкладів розглянуто фрагментарно. З'ясування ж обстановок осадонагромадження, передусім кластогенних горизонтів (імовірних колекторів вуглеводнів), дозволить спрогнозувати їхнє поширення й у межах нерозбурених ділянок. Власне, розв'язанню цієї проблеми й присвячено дану роботу.

Мета – дослідження просторово-вікових особливостей поширення літологічних комплексів, реконструкція обстановок осадонагромадження для окремих вікових діапазонів, визначення генетичної природи піщано-алевролітових акумулятивних тіл майкопських відкладів Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну.

Методика. Літофаціальні побудови здійснювалися на основі літологічної типізації відкладів по розрізах свердловин, згідно з методикою [5]. Літомологічна структура відкладів визначалася на основі виділення літмітів – утворень надпорядного рівня, які, згідно з [4], представляють собою асоціації породних тіл (шарів); літміти виділялися за методичним підходом за [3, 6, 7].

Результати. Літофаціальна зональність відкладів майкопської серії. Майкопська серія представлена нижньо- (нижній олігоцен, планорбелова та остракодова світи), середньо- (верхній олігоцен, керлеутська світа) та верхньомайкопською (нижній міоцен, корольська світа) частинами [11]. У межах північно-західного шельфу Чорного моря та суміжних суходолів ці нашарування мають регіональне поширення (рис. 1). Вони відсутні локальними ділянками на теренах Добруджі, Гірського Криму, у склепінній зоні Центрально-Кримського мегапідняття, на схилі Українського щита (західні та східні райони Північного Причорномор'я). Найповніші максимальної потужності розрізи майкопу розкриті в

межах північно-західного шельфу Чорного моря [3, 6-7]. У цій частині регіону потужність відкладів перевищує 1600 м. Натомість на теренах Західного та Північного Причорномор'я, Рівнинного Криму розрізи майкопу скорочені, їх потужність коливається від 300-400 м (Альмінська западина, північні райони Причорномор'я, схили та склепінні зони Кілійсько-Зміїного та Центрально-Кримського підняття) до 700-1000 м (східні та західні терени Рівнинного Криму). Редукція розрізів у цих ра-

йонах відбувається в результаті закономірного зменшення потужності окремих горизонтів та їх конседиментаційного виклинювання або пізнішого розмиву. Залягають майкопські утворення, як правило, з певною незгідністю на карбонатних відкладах верхнього еоцену та перекриваються теж незгідно тортонськими карбонатними нашаруваннями. Обидві границі доволі чіткі й відбиваються як за геофізичними, так і літологічними ознаками.

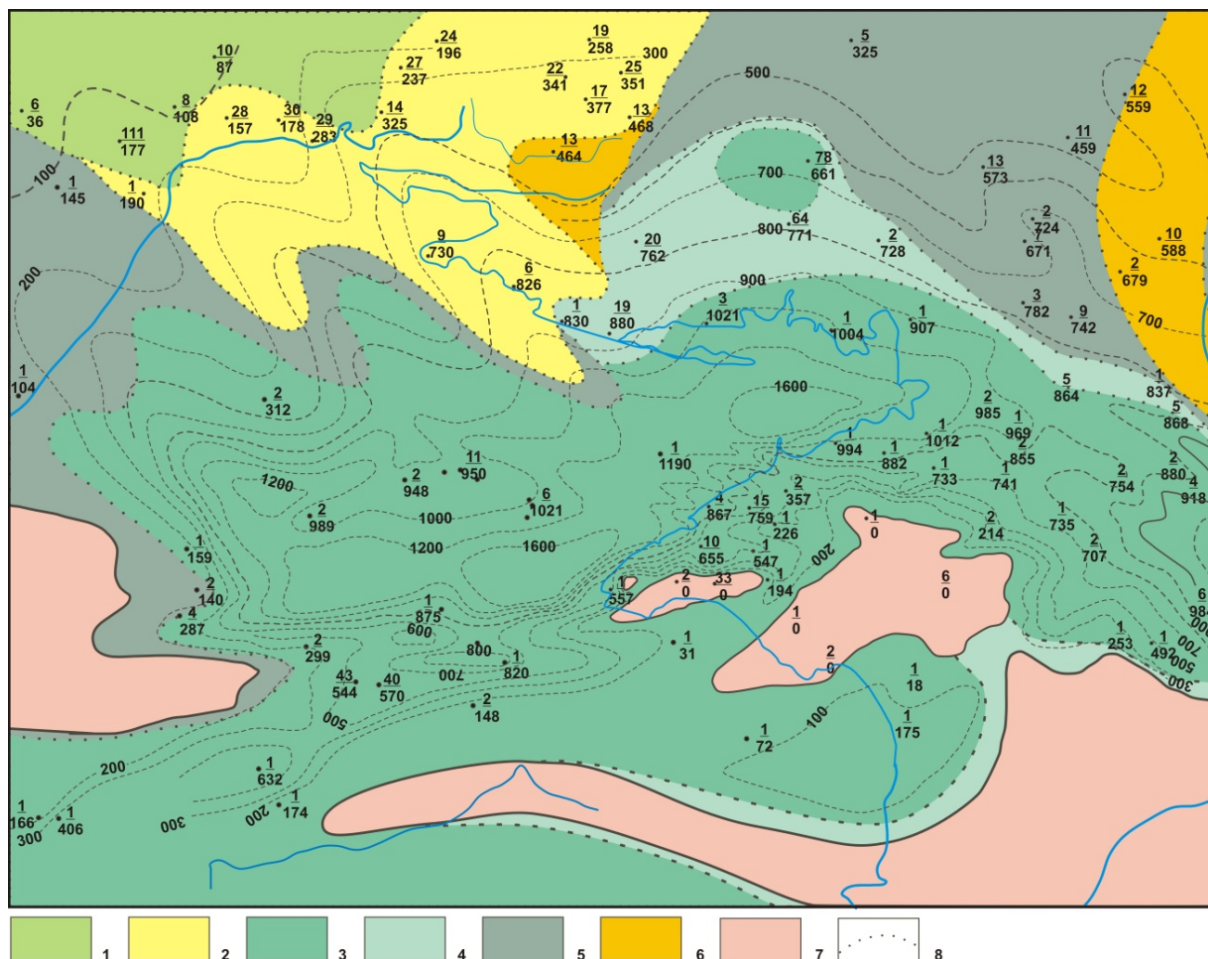


Рис. 1. Літофаціальна карта майкопських відкладів Каркінітсько-Північнокримського прогину:

літологічні серії та комплекси: *псамітова серія*: 1 – аргіліто-алевроліто-псамітовий комплекс (пісковики – 50-75%, алевроліти – 25-50%, аргіліти – 0-25%), *алевролітова серія*: 2 – псаміто-аргіліто-алевролітовий комплекс (пісковики – 25-50%, алевроліти – 50-75%, аргіліти – 0-25%), *псаміто-алевроліто-аргілітова серія*: 3 – аргіліто-алевролітовий комплекс (пісковики – 0-25%, алевроліти – 25-50%, аргіліти – 25-50%), *аргілітова серія*: 4 – псаміто-алевроліто-аргілітовий комплекс (пісковики – 0-25%, алевроліти – 25-50%, аргіліти – 75-100%), 5 – аргілітовий з прошарками алевролітів та псамітів комплекс (пісковики – 0-25%, алевроліти – 0-25%, аргіліти – 50-75%), 6 – аргілітовий комплекс (пісковики – 0-25%, алевроліти – 0-25%, аргіліти – 7-100%); 7 – відсутність відкладів; 8 – ізопотужності

За результатами кількісного літофаціального аналізу, згідно з методикою [5], у майкопській товщі встановлено чотири літофаціальні серії, при максимальному поширенні (близько 80% території) *аргілітової* серії. Остання складена трьома комплексами: аргілітовим (пісковики – 0-25%, алевроліти – 0-25%, аргіліти – 75-100%); аргілітовим з прошарками алевролітів і псамітів (пісковики – 0-25%, алевроліти – 0-25%, аргіліти – 50-75%) та псаміто-алевроліто-аргілітовим (пісковики – 0-25%, алевроліти – 25-50%, аргіліти – 75-100%). Відклади аргілітового комплексу поширені в осьовій зоні та на бортах Каркінітсько-Північнокримського прогину, а також у межах Альмінської депресії. Потужність відкладів досягає 1600 м. Псаміто-алевроліто-аргілітовий комплекс вузькою смугою субширотного простягання розвинутий у Західному та Північному Причорномор'ї. Потужність відкладів комплексу коливається від перших

метрів до 900 м, але найчастіше не перевищує 200 м. Відклади аргілітового з прошарками алевролітів та псамітів комплексу простежені на крайньому північному сході регіону, потужність відкладів коливається в межах 700-900 м. *Псамітова серія* локалізована лише в північно-західних ділянках регіону (Північне Причорномор'є), де представлена аргіліто-алевроліто-псамітовим літологічним комплексом (пісковики – 50-75%, алевроліти – 25-50%, аргіліти – 0-25%), який формує тіло лапатої форми (потужність 30-200 м). *Алевролітова серія* у південно-східному напрямку фаціально заміщує псамітову. Вона представлена псаміто-аргіліто-алевролітовим комплексом (пісковики – 25-50%, алевроліти – 50-75%, аргіліти – 0-25%). Його ареал вирізняється значною видовженістю та збільшеними потужностями від 200 до 1000 м. *Псаміто-алевроліто-аргілітова серія* локалізована у вигляді двох тіл у центральних та півні-

чно-східних районах Причорномор'я, східних теренах Рівнинного Криму. Представлена вона лише переважно аргіліто-алевролітовим комплексом (пісковики – 0-25%, алевроліти – 25-50%, аргіліти – 25-50%) з потужністю відкладів 500-900 м.

За літологічним складом олігоцен-нижньоміоценова товща Каркінітсько-Північнокримського прогину доволі однотипна [3, 6-7]. Її основу складають глинисті утворення (до 70% розрізу). Як включення, причому переважно в нижній та середній частинах розрізу товщі, відмічаються прошарки алевролітів (0,5-2,0, іноді до 10 м, сумарно 33-49% розрізу) та пісковиків (від 0,5 до 3,0 м, 5-15%). Просторово-віковий розподіл даних грубозернистих літотипів дуже нерівномірний, що вказує на періодичність активізації теригеного скиду та існування декількох джерел живлення. Останні максимально розвинені в середній та верхній частинах майкопу Північного Причорномор'я (Таврійська, Херсонська, Каїркінська площі) (рис. 1). У межах північно-західного шельфу Чорного моря кластогенні відклади простежені в районі площі Шмідта. В осьовій зоні Каркінітсько-Північнокримського прогину домінують глинисті літотипи з поодинокими прошарками алевролітів чи пісковиків.

Літологічна структура олігоцен-нижньоміоценових відкладів. Літміти – утворення надпородного рівня [за 4], виділялися на основі інтерпретації результатів ГДС шляхом визначення середньозваженого вмісту основних літотипів (пісковик, алевроліт, аргіліт) у розрізі з кроком 20 м. За результатами літологічних досліджень [3, 6-7], у структурі розрізу майкопської товщі встановлено домінування глинистих літмітів (понад 65% розрізу). Південно-західна частина регіону (Десантна, Олімпійська площі) відрізняється широким розвитком кластичних літмітів, які складають до 75% розрізу. Подібна картина спостерігається й у Північному Причорномор'ї (Таврійська, Херсонська площі), де вміст у розрізі псамо-алевролітових літмітів перевищує 50%. На решті території частка псамо-алевролітових літмітів у складі описуваної товщі не перевищує 25%. Доволі чіт-

ко в літологічній структурі розрізу майкопської товщі регіону виокремлюються декілька кластогенних літмітів регіонального плану: два у нижньомайкопській (Мн-I, Мн-II), три у середньомайкопській (Мс-I, Мс-II, Мс-III) і верхньомайкопська товщі.

Базальна пачка (Мн-I) нижньомайкопської товщі потужністю 20-60 м простежується переважно в осьових зонах конседиментаційних депресій.

За літологічними ознаками її розріз складений горизонтами перешарування алевролітів (потужність окремих прошарків від 0,5-1 до 6 м, 25-50% розрізу), пісковиків (0,5-1,5 м, 22-30%) та аргілітів (від 0,5-15 до 7 м, 23-63%) (рис. 2).

Друга пачка регіонального плану (Мн-II) простежується в середній частині розрізу нижньомайкопської товщі в межах практично всієї вивченої території. Її потужність варіює від 40 до 80 м, а структура формується літотипами змішаного (III), алевролітового (IV) та псамітового (II) полів, що фаціально заміщують один одного в просторі та часі. В осьовій зоні та на східних схилах Михайлівської депресії пачка розщеплена прошарками глинистих утворень (поля VI та VII). Літологічна структура пачки Мн-II характеризується чергуванням пластів аргілітів (22-47%, потужністю 1-5 м) та алевролітів (38-77%, 0,5-12 м) з включенням прошарків пісковиків (0-13%, 0,5-5 м) (див. рис. 2).

Базальна пачка середньомайкопської товщі (Мс-I) потужністю 20-80 м простежується, в основному, у склепіннях та на схилах конседиментаційних підняття в північних, західних та східних районах регіону. На півдні та в осьових зонах депресій ці утворення не зафіксовані. Пачка Мс-I складена переважно літмітами змішаного (III) з локальним розвитком псамітового (II) чи алевролітового (IV) полів. Розріз характеризується тонким перешаруванням алевролітів (0,2-1,0 м) та аргілітів (0,5-4,0 м), іноді пісковиків (0,1-0,5 м).

Друга пачка (Мс-II) тяжіє до середньої частини розрізу середнього майкопу й простежується в межах практично усієї вивченої території.

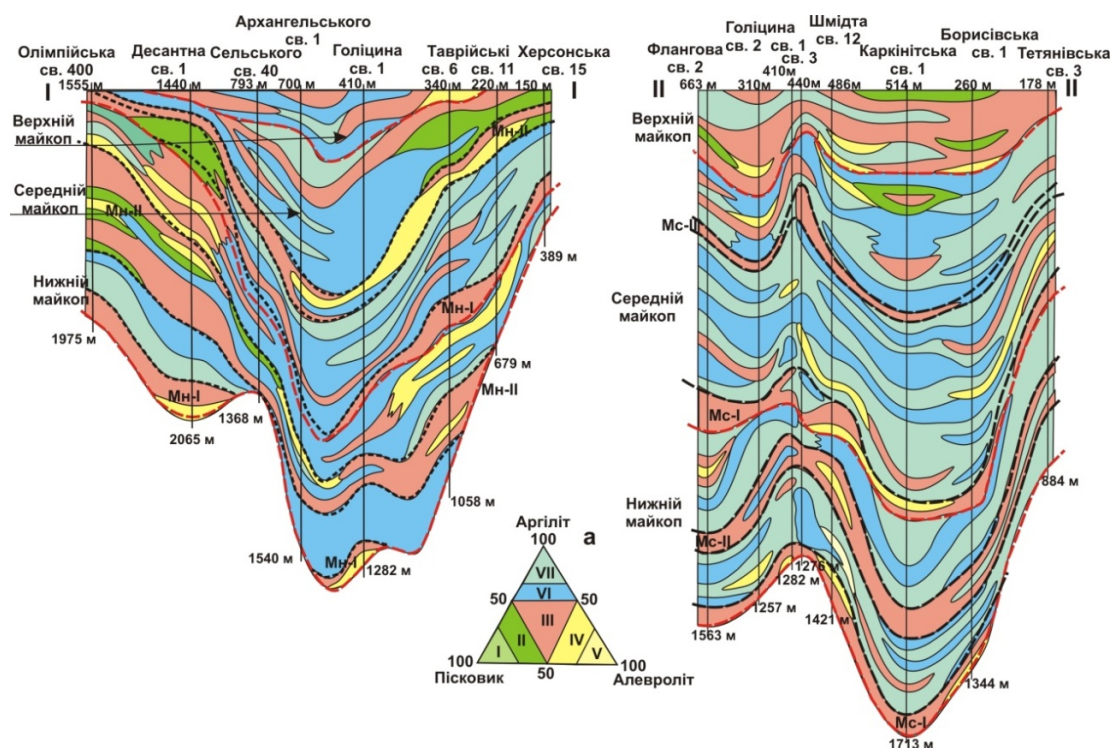


Рис. 2. Повздовжній (I-I) та поперечний (II-II) літологічні перетини майкопської товщі Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну:

а – класифікаційна літологічна трикутна діаграма

Потужність варіює в межах 20-40 м, а формують її переважно утворення змішаного (III), місцями (у північних ділянках регіону) псамітового (II) та алевролітового (IV) полів. Літологічна структура на південному борті прогину характеризується перешаруванням пластів пісковиків (30%, потужністю 0,5-2 м) та алевролітів (55%, потужністю 1,0-5,0 м) з поодинокими прошарками аргілітів (15%, потужністю до 1,5 м).

Третя пачка (Mc-III) доволі чітко проявляється лише у розрізах на схилах Української монокліналі, де її потужність перевищує 50 м. У південному напрямку (в межах депоцентрів седиментаційного басейну) вона різко виклинюється. Складена пачка кластогенними утвореннями змішаного (III), алевролітового (IV) та піщаного (II) полів. Розріз характеризується перешаруванням псамітів (потужністю до 10 м) та алевролітів (0,5-15,0 м) з поодинокими прошарками аргілітів (1,0-3,0 м). Верхньомайкопська товща потужністю до 200 м та з ширшим (понад 50%), порівняно з описаними вище товщами, розвитком алевро-псамітових горизонтів у структурі її розрізу, в наших дослідженнях проходить як єдина регіональна кластогенна пачка. Сумарна потужність псамітів у її розрізі коливається від 4 до 54 м (4-41%), у той час як прошарки алевролітів мають практично регіональне поширення, а їхня сумарна потужність становить 5-79 м або 15-46% розрізу.

Обстановки майкопського осадонагромадження. Початок олігоценової трансгресії відбивається форму-

ванням кластогенних утворень "базальної" пачки Mn-I, а її подальший розвиток спричинив нагромадження пелітових та алеврито-пелітових мулів у межах практично усього басейну (рис. 3).

Епізод зниження рівня моря в середині раннього майкопу зумовив формування алеврито-піщаних акумулятивних тіл регіональної пачки Mn-II. Регресивні тенденції наприкінці раннього майкопу проявилися лише у периферійних ділянках седиментаційного басейну накопиченням кластогенів зональної пачки Mn-III.

Окрім того, фіксуються ділянки практично наскрізного розвитку "вузлових" тіл барового генезису з включенням поодиноких прошарків фаціальних зон конусів виносу (район Олімпійської, Десантної площ, площі Голіцина). В північних районах регіону простежено утворення алювіально-дельтової системи (Таврійська площа): руслові, гирлового бару, бар'єрного острову та конусу виносу. В депоцентрах седиментаційного басейну (Михайлівському та Каркінітському) домінувала пелагічна мулова седиментація з локальним розвитком барових різновидів.

Зниження рівня океану на початку пізньоолігоценового часу обумовило формування "базальної" кластогенної пачки (Mc-I). Пізніше трансгресивна тенденція спричинила нагромадження переважно пелагічних пелітових та алеврито-пелітових мулів у межах практично усього седиментаційного басейну.

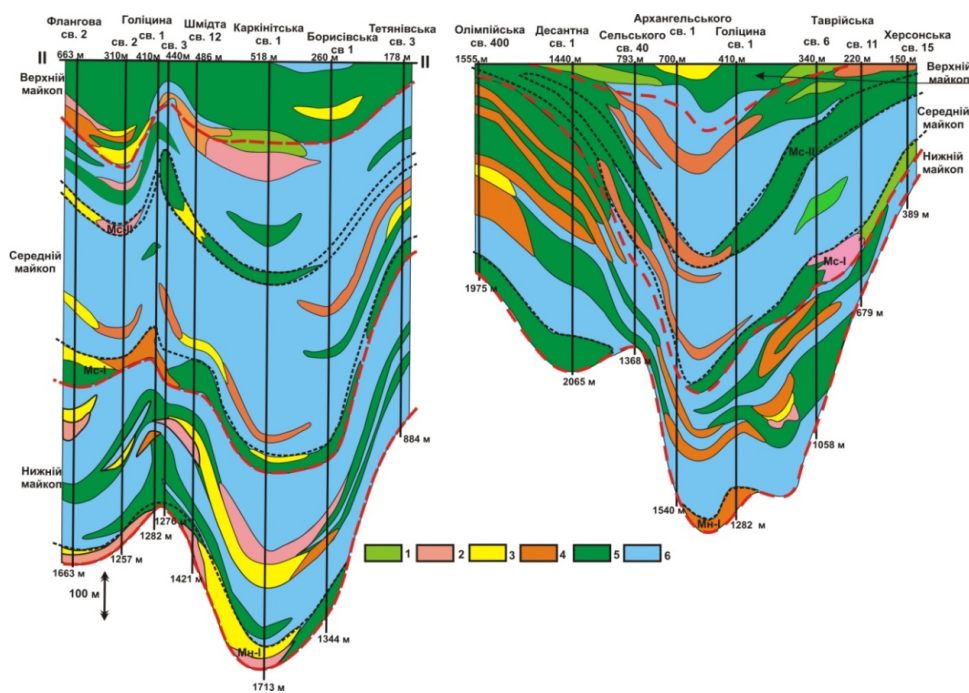


Рис. 3. Поперечний (II-II) та поздовжній седиментолого-палеоокеанографічні перетини майкопської товщі Каркінітсько-Північнокримського осадово-порідного басейну:

1 – русло, 2 – гирловий бар, 3 – бар'єрний острів, 4 – конус виносу, 5 – вздовжбереговий бар, 6 – мулові утворення шельфу

Пачка Mc-II фіксує момент зниження рівня океану всередині часу, наприкінці якого знову проявився регресивний епізод з формуванням алеврито-піщаних акумулятивних тіл пачки Mc-III.

Наскрізний розвиток "вузлових" тіл збалансованої алювіально-дельтової системи фіксується в північних районах регіону, де проявляється доволі чітка послідовність зміни фаціальних зон від берега вглиб басейну: руслові алювіальні утворення-відклади гирлового бару-нашарування конусу виносу. У прибортових частинах прогину відмічається поширення "вузлових" тіл барово-

го генезису, а в осьовій зоні прогину – пелагічних пелітових утворень.

Певне обміління водойми на початку ранньоміоценового (пізньомайкопського) часу обумовило нагромадження переважно "грубозернистих" кластогенних літо-типів (базальних верств) практично в межах усього вивченого басейну. Наступні трансгресивні тенденції спричинили формування переважно пелагічних пелітових та алевро-пелітових мулів у осьовій зоні седиментаційного басейну. Наприкінці пізньомайкопського часу знову проявився регресивний епізод з формуванням алевро-піщаних акумулятивних тіл.

Як випливає з наведеного вище, олігоцен-нижньоміоценовим (майкопським) утворенням притаманний циклічний характер осадонагромадження, у зв'язку з чим побудова загальної геолого-палеоокеанографічної моделі, навіть для окремих віків (ранньо-, пізньо-) олігоценового чи ранньоміоценового часу, видається недоцільною, оскільки принципові особливості седиментації при цьому усереднюються та "розмиваються". Останнє, в першу чергу, зумовлене існуванням тривалих трансгресивних епізодів, з регіональною муловою пелагічною седиментацією з включенням (розбавлених) короткотривалих, але найбільш цікавих у нафтогазопошуковому відношенні, регресивних епізодів з алювіально-дельтовим і баровим класовим осадонагромадженням. Враховуючи це, було побудовано геолого-палеоокеанографічні моделі на початок ранньоміоценового (час формування регіональної пачки Мн-I), початок і кінець пізньоміоценового (час формування регіональних пачок Мс-I та Мс-II) і ранньоміоценовий час (рис. 4).

У цілому, враховуючи палеогеографічну ситуацію олігоценового часу в океані Тетис [11], а також отримані дані, можна стверджувати, що трансгресія в межах Чорноморсько-Кримського регіону поширювалась у північно-східному напрямку з акваторії Західно-Чорноморського трого. При цьому, доволі чітко виокремлюються два седиментаційні басейни з різною гідродинамікою та умовами седиментації, що існували протягом усього вивченого періоду: внутрішній Одеський (закритий, естуарієвий, північний) та зовнішній Чорноморський (відкритий, південний), що розмежовані Кілійсько-Каламітсько-Новоселівською грядкою підводно-надводних височин.

У зовнішньому, відкритому до океанічних вод, Чорноморському седиментаційному басейні домінували прибережно-морські та плитководноморські умови теригеного осадонагромадження. Депоцентр басейну знаходився південніше, за межами вивченого регіону, а накопичувались тут, в основному, пелітові мули шельфових рівнин, з локальним розвитком алевроито-пелітових і алевроитових мулів фаціальних зон типу "вздовжберегових барів" та "конусів виносу" (див. рис. 4).

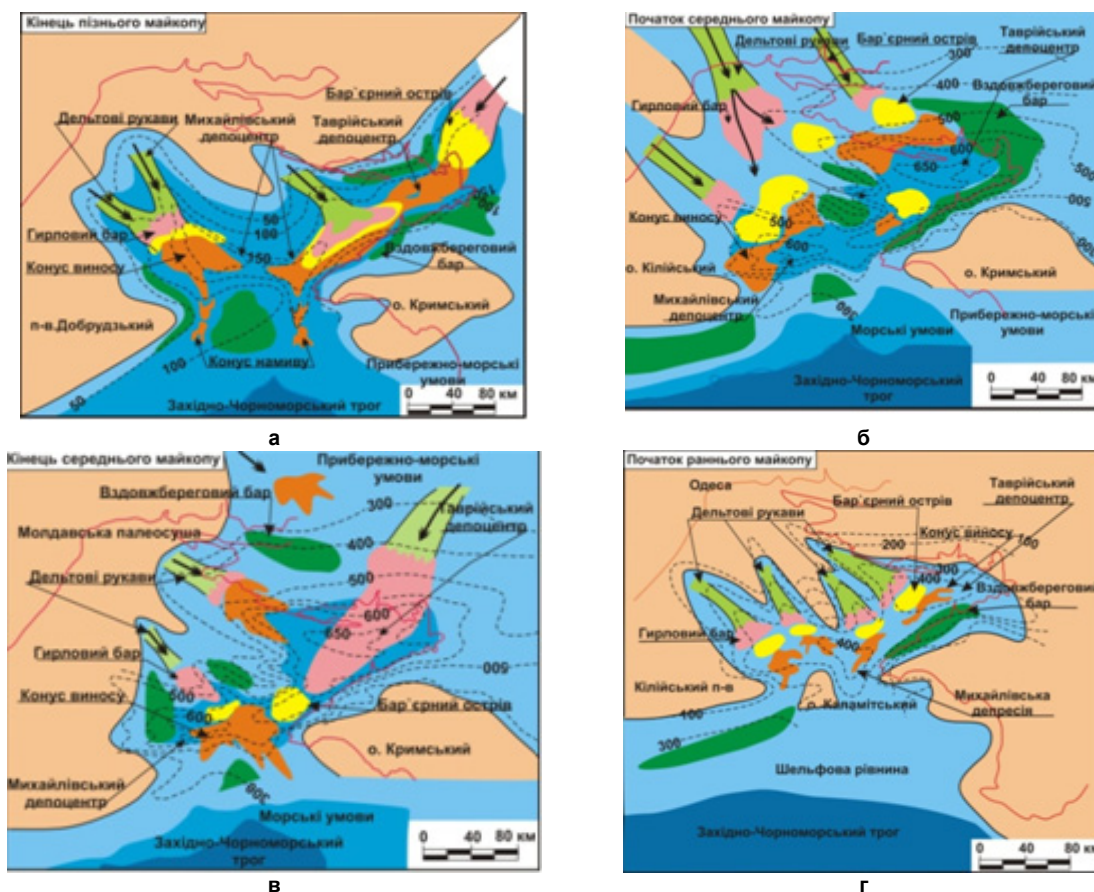


Рис. 4. Седиментолого-палеоокеанографічні моделі формування регіональних класових пачок олігоцен-ранньоміоценового віку Каркінітсько-Північнокримського осадово-порідного басейну:

а – кінець пізнього майкопу, б – початок середнього майкопу, в – кінець середнього майкопу, г – початок раннього майкопу

У внутрішньому естуарієвому Одеському седиментаційному басейні домінували прибережно-морські, плитководноморські та, епізодично, алювіально-дельтові умови осадонагромадження. Переважала тут пелагічна мулова седиментація, що протікала в спокійних гідродинамічних умовах шельфового басейну. Періодичний скид грубозернистого уламкового матеріалу забезпечували річкові системи субмеридіонального простягання, які дренивали сучасні терени західного (Молдавська палеосуша) та північного (Фено-Сарматський палеоконтинент) Причорномор'я. Останні відзначались

незначними обсягами поставки кластичного матеріалу в басейн осадонагромадження, що, на нашу думку, зумовлене пенепленізацією названих суходолів, та формували незначні за площею та потужністю псаммо-алевроитові вузлові тіла фаціальних зон "русло", а на морському продовженні – "гирловий бар", "конус виносу". Схили великих конседиментаційних підняття (Новоселівського, Кілійсько-Зміїного, Голіцинського та інших) облямовуються псаммо-алевроитовими утвореннями фаціальних зон типу "вздовжбереговий бар".

Незважаючи на наявність цілої низки спільних (стабільних) характерних седиментаційних рис, що існували протягом усього олігоцен-ранньоміоценового часу в Чорноморсько-Кримському осадовому басейні, доволі чітко виокремлюються й специфічні, притаманні окремим віковим проміжкам, особливості. Найяскравіше останнє проявляється у просторово-віковому розподілі епізодичних водотоків (див. рис. 4).

Алювіально-дельтові літотики початку ранньоолігенової трансгресії (горизонт Мн-I), сформовані чотирма водними потоками північно-західного простягання. Останні брали початок з пенепленізованої рівнини Молдавської палеосуші та відзначались незначними обсягами поставки кластичного матеріалу в басейн осадонагромадження.

У пізньоолігеновий час, у результаті віддалення області живлення та адекватного збільшення дзеркала водойми, значно скоротився обсяг надходження псаммоалевритового матеріалу до седиментаційного басейну при збереженні основних напрямків його скиду.

Ці ж самі, що й у ранньоолігеновий час, чотири водотоки північно-західного простягання формували алювіально-дельтові вузлові тіла горизонту Мс-II. Відчутних змін палеоокеанографічна ситуація в межах району досліджень зазнала наприкінці олігоценного часу.

Незважаючи на зменшення дзеркала водойми та збільшення площі суходолу, значно знизився обсяг теригенного скиду з Молдавського пенеплену, хоча два його малопотужні водотоки північно-західного простягання формували невеличкі за площею руслові акумулятивні тіла (горизонт Мс-III). Одночасно, основний обсяг кластичного матеріалу до седиментаційного басейну почав надходити з північного (Фено-Сарматського) суходолу. Потужна річкова система (р. Пра-Дніпро) субмеридіонального простягання чітко фіксується кластогенами алювіально-дельтового генезису у північному Причорномор'ї. Цей факт свідчить не тільки про розвиток регресивних тенденцій у описуваному седиментаційному басейні, але й про певні зміни геодинамічного розвитку регіону. Регресивні тенденції розвитку Чорноморсько-Кримського седиментаційного басейну збереглися й у ранньоміоценовий час: зменшилося дзеркало водойми, басейн став більш плитководним порівняно з описаними вище, збільшився ареал поширення акумулятивних кластогенних тіл (пізній майкоп). Скид теригенного матеріалу забезпечували річкові системи Молдавського та Фено-Сарматського суходолів приблизно в рівних обсягах.

Наукова новизна та практичне значення. На основі проведених досліджень олігоцен-нижньоміоценових відкладів північно-західного шельфу Чорного моря встановлено палеоокеанографічні умови формування кластогенних літотипів майкопської товщі. Результати вивчення генезису та просторово-вікового поширення майкопських відкладів дають наукове підґрунтя для прогнозу поширення в межах шельфової частини Чорного моря нафтогазоперспективних об'єктів.

Висновки. Олігоцен-нижньоміоценовим (майкопським) утворенням Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну притаманний циклічний характер осадонагромадження. Початок олігоценної трансгресії відбивається формуванням кластогенних утворень "базальної" пачки Мн-I, а її подальший розвиток спричинив нагромадження пелітових та алеврито-пелітових мулів у межах практично усього басейну. Епізоди зниження рівня моря в середині та наприкінці раннього олігоцену зумовили формування алеврито-піщаних акумулятивних тіл регіональної (Мн-II) та зональної (Мн-III) пачок. Зниження рівня океану на початку пізньоолігенового часу обумовило формування "базальної" кластогенної пачки (Мс-I).

Пачка Мс-II фіксує момент зниження рівня океану всередині часу, наприкінці якого знову проявився регресивний епізод з формуванням алеврито-піщаних акумулятивних тіл пачки Мс-III. Практично наскрізний характер розвитку кластогенів у межах регіону властивий ранньоміоценовому часу. Періодичне надходження грубозернистого уламкового матеріалу в регресивні моменти забезпечували річкові системи субмеридіонального простягання, які дренивали сучасні терени західного (Молдавська палеосуша) та північного (Фено-Сарматський палеоконтинент) Причорномор'я. Останні відзначались незначними обсягами постачання кластичного матеріалу в басейн осадонагромадження, що зумовлене пенепленізацією названих суходолів, та формували незначні за площею та потужністю псаммоалевритові вузлові тіла фаціальних зон "русло", а на морському продовженні – "гирловий бар", "конус виносу". Домінуючим в часі трансгресивним епізодам розвитку басейну властива пелагічна мулова седиментація.

Список використаних джерел

1. Атлас родовищ нафти і газу України [Карти] : в 6-и т. ; Т. VI. Південний нафтогазоносний регіон / Б. І. Денега, М. В. Німець, М. І. Павлюк та ін. ; ред.: М. М. Іванюта та ін. ; Укр. нафтогаз. акад. ; Б. м-бу. - Львів : Б. вид-ва, 1998. - 222 с.
2. Геолого-структурно-термоатмогеохімічне обґрунтування нафтогазоносності Азово-Чорноморської акваторії [Текст] / П. Ф. Гожик [та ін.] ; [відп. ред. П. Ф. Гожик, акад. НАН України] ; НАН України, Ін-т геол. наук. - К. : Логос, 2010. - 420 с.
3. Григорчук К. Літологія і седиментогенез майкопських відкладів Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну. Стаття 2. Ранній майкоп. Геологічна палеоокеанографія та седиментолітогенез / К. Григорчук, В. Гнідець, Л. Баландюк // Геологія і геохімія горючих копалин. - 2009. - № 2 (147). - С. 71-83.
4. Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность / Ю. Н. Карогодин. - М.: Недра, 1980. - 242 с.
5. Киселев А. Е. Количественный метод в литофациальных исследованиях (на примере Лено-Вилуйской и Карпатской нефтегазоносных провинций) / А. Е. Киселев, Я. О. Кульчицкий // Геологический журнал. - 1983. - №6. - С. 1-10.
6. Літологія і седиментогенез майкопських відкладів Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну. Стаття 3. Середній майкоп. Геологічна палеоокеанографія та седиментолітогенез / К. Григорчук, В. Гнідець, Л. Баландюк, О. Кохан // Геологія і геохімія горючих копалин. - 2009. - № 3-4 (148-149). - С. 55-69.
7. Літологія і седиментогенез майкопських відкладів Каркінітсько-Північнокримського осадово-породного басейну. Стаття 4. Пізній майкоп. Геологічна палеоокеанографія та седиментолітогенез / К. Григорчук, В. Гнідець, Л. Баландюк, О. Кохан // Геологія і геохімія горючих копалин. - 2012. - № 3-4 (160-161). - С. 55-65.
8. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів в українському секторі Причерноморського шельфу Чорного моря / П. Ф. Гожик, М. І. Євдошук, Е. А. Ставицький [та ін.] ; НАН України, Держ. служба геології та надр України, Нац. акціонер. компанія "Нафтогаз України". - К. : Едельвейс, 2011. - 439 с.
9. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України : монографія : у 8 кн. Кн. 3. Південний нафтогазоносний регіон [Текст] / В. А. Михайлов, І. М. Куровець, Ю. М. Сеньковський та ін. ; ред.: О. Ю. Зейкан, В. А. Михайлов, І. М. Куровець, П. М. Чепіль ; Нац. акціонер. компанія "Нафтогаз України", Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Ін-т геології і геохімії горючих копалин, НАН України. - Київ : Київ. ун-т, 2014. - 214, [1] с.
10. Стратиграфія мезокайнозойських відкладів північно-західного шельфу Чорного моря [Текст] / П. Ф. Гожик [та ін.] ; НАН України, Інститут геологічних наук. - К. : Логос, 2006. - 170 с.
11. Еволюція Тетиса [Текст] / Л. П. Зоненшайн, Ж. Деркур, В. Г. Казьмин і др. // История океана Тетис. - М.: Институт геологических наук АН СССР, 1987. - С. 104-115.

References

1. Deneha, B.I., Nimets, M.V., Pavliuk, M.I. et al. (1998). *Atlas of Oil and Gas Fields in Ukraine [Atlas rodovysch nafty i gazu. Pivdennyi region]*. (Vols. I-VI). *South Region [Pivdennyi region]*. M. M. Ivanyuta et al. (Ed.). (Vol. VI, pp. 222). Lviv. [in Ukrainian].
2. Gozhyk, P.F., Bagriy, I.D., Voitsyskiy, Z.Ya. et al. (2010). *Geological-structural-thermo-atmo-geochemical substantiation of the petroleum presence in the Azov-Black Sea aquatory. [Geologo-strukturno-termoatmo-geoekhimichne obgruntuuvannya naftogazonosnosti Azovo-Chornomorskoyi akvatoriyi]*. P.F. Gozhyk (Ed.). Kyiv: Logos. [in Ukrainian].
3. Grygorchuk, K., Gniedets, V., Balandyuk, L. (2009). Lithology and sedimentogenesis of the Maykopian deposits of the Karkitit-Northern Crimea sedimentary-rock basin. Article 2. Early Maykopian. Geological paleoceanography and sedimento-lithogenesis. [Lotologiya i sedimentogenes maykopskikh vidkladiv Karkivitsko-Pivnichnokrymskogo osadovo-porodnogo

baseynu. Statyia 2. Ranniy maykop. Geologichna paleoceanografiya ta sedyimentolitogenez]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 2(147), 71-83. [in Ukrainian].

4. Karogodin, Yu.N. (1980). *Sedimentation cyclicity. [Sedimentatsionnaya tsyklichnost']*. Moscow: Nedra. [in Russian].

5. Kiseliy, A.E., Kulchitskyi, Ya.O. (1983). Quantitative analysis in litho-facial researches (as an example of Leno-Vilyuysk and Carpathian oil and gas provinces) [Kpichestvennyy metod v litofatsialnykh isledovaniyakh (Leno-Vilyuyskoy i Karpatskoy neftegazonosnykh provintsiy)]. *Geological Journal*, 6, 1-10. [in Russian].

6. Grygorchuk, K., Gnidets, V., Balandyuk, L., Kokhan, O. (2009). Lithology and sedimentogenesis of the Maykopian deposits of the Karkitit-Northern Crimea sedimentary-rock basin. Article 3. Middle Maykopian. Geological paleoceanography and sedimento-lithogenesis. [Lotologiya i sedyimentogenes maykopskikh vidkladiv Karkivitsko-Pivnichnokrymskogo osadovo-porodnogo baseynu. Statyia 3. Seredniy maykop. Geologichna paleoceanografiya ta sedyimentolitogenez]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 3-4(148-149), 55-69. [in Ukrainian].

7. Grygorchuk, K., Gnidets, V., Balandyuk, L., Kokhan, O. (2012). Lithology and sedimentogenesis of the Maykopian deposits of the Karkitit-Northern Crimea sedimentary-rock basin. Article 4. Late Maykopian. Geological paleoceanography and sedimento-lithogenesis. [Lotologiya i sedyimentogenes maykopskikh vidkladiv Karkivitsko-Pivnichnokrymskogo osadovo-porodnogo baseynu. Statyia 4. Pizniy maykop. Geologichna pa-

leoceanografiya ta sedyimentolitogenez]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 3-4(160-161), 55-65. [in Ukrainian].

8. Gozhyk, P.F., Evdoschuk, M.I., Stavitsky, E.A. et al. (2011). *Scientific and practical fundamentals of researching of the hydrocarbons in the Ukrainian sector of Black Sea. Prukerchian shelf. [Naukovi i praktychni osnovy poshykiv rodovysch vuglevodniv v ukrainskomu sektori Chornogo morya]*. Kyiv: Edelveys. [in Ukrainian].

9. Mykhailov, V.A., Kurovets, I.M., Senkovskyi Yu.M. et al. (2014). *Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine. [Netradytsiyni dzherela vuglevodniv Ukrainy]*. (Vols. 1-8). *South oil-gas-bearing region [Pivdennyi naftogazonosnyy region]*. O.Yu. Zeykan, V.A. Mykhailov, I.M. Kurovets, P.M. Chepil (Eds.). (Vol. 3, pp. 214). Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv; Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals NAS of Ukraine. [in Ukrainian].

10. Gozhik, P.F., Maslun, N.V., Plotnikova, L.F., Ivanik, M.M. & Yakuschin, L.M. (2006). *The stratigraphy of Meso-Cenozoic deposits of the Black sea northwestern shelf. [Stratyografiya mezokaynozoysskikh vidkladiv pivnichnogo-zakhidnogo shelfu Chornogo morya]*. Kyiv: Institute of Geological Sciences National Academy of Sciences of Ukraine, 171 p. [in Ukrainian with English abstract]. [in Ukrainian].

11. Zonenshain, L.P., Derkur, J., Kazmin, V.G., Rick, L.E., Knipper, A.L., Le Pichon, K. et al. (1987). *The evolution of the Tethys. [Evolutsiya Tetisa]*. In: *Story of the Tethys. [Istiya okeana Tetis]* (pp. 104-115). Moscow: Institute of Geological Sciences of AS of the USSR. [in Russian].

Надійшла до редколегії 07.02.16

K. Grygorchuk, Leading Researcher

E-mail: kosagri@ukr.net,

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

E-mail: vgnidec@mail.ru,

O. Kokhan, II Category Engineer

E-mail: kohanom8@gmail.com

Sedimentology of Combustible Deposits Department

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals

NAS of Ukraine, tel.: (097) 603-42-48,

3a Naukova Str., Lviv, 79060 Ukraine

OLIGOCENE – EARLY MIOCENE (MAYKOP) DEPOSITS IN KARKINITE NORTH-CRIMEAN SEDIMENTARY BASIN: GEOLOGICAL AND PALEO-OCEANOGRAPHIC SEDIMENTATION SETTING

The paper deals with featuring lithology of the Oligocene-Early Miocene sedimentary complex within the Karkinite North-Crimean basin and reconstructing its sedimentation setting. The research involves lithological, facial, litmological, sedimentary, and paleo-oceanographic analyses. It is established that lithological structure of the Maykop series in its section is represented by interstratifications of clay, silt, and psammitic lithological rocks, which are grouped in aleuritic-sandstone litmites, clayish litmites, and mixed ones; the latter equally containing mudstones, siltstones, and sandstones. Subregionally distributed clastogenic litmites reveal cases of massive regressive sedimentation and act as stratigraphic marks. The major sand-aleuritic accumulations are found to be bars, barrier islands, and alluvial fans. The paper makes the first attempt to reconstruct sedimentary and paleo-oceanographic setting for Oligocene-Early Miocene clastogenic sedimentation within the north-western shelf of the Black Sea and the adjacent landmass. Besides, it provides sedimentation models for heterochronous rock intervals and determines the nature of spatio-temporal distribution of heterogeneous bodies.

Studying lithology of strata and creating sedimentation models will promote an insight into stratigraphy and spatio-chronological distribution of heterogeneous sedimentary rocks, in particular. This will lay lithogenetic basis for accurate forecasting prospective oil and gas-bearing rocks and their spatio-chronological distribution.

Keywords: north-western shelf of the Black Sea, Oligocene-Early Miocene (Maykop) deposits, paleo-oceanography, alluvial deltaic system, fan, barrier island.

K. Григорчук, д-р геол. наук, вед. науч. сотр.

E-mail: kosagri@ukr.net

V. Гнидець, канд. геол.-минералог. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: vgnidec@mail.ru

O. Кохан, инж. II кат.

E-mail: kohanom8@gmail.com

Отделение седиментологии провинций горючих ископаемых

Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины

ул. Научная, 3-а, г. Львов, 79060, Украина; тел. +38(032)2634161

ГЕОЛОГО-ПАЛЕООКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЕДИМЕНТАЦИИ ОЛИГОЦЕН-НИЖНЕМИОЦЕНОВЫХ (МАЙКОПСКИХ) ОТЛОЖЕНИЙ КАРКИНИТСКО-СЕВЕРОКРЫМСКОГО ОСАДОЧНО-ПОРОДНОГО БАССЕЙНА

Цель работы – исследование литологических особенностей осадочного комплекса олигоцен-раннемиоценового возраста в пределах Каркинитско-Северокрымского бассейна и реконструкция условий осадонакопления. Методика включает литолого-фациальный, литоморфологический, седиментолого-палеоокеанографический анализы.

Результаты. Установлено, что литологическая структура разреза майкопской серии представлена переслаиванием глинистых, алевроитовых и псаммитовых литотипов, которые группируются в глинистые, смешанные (аргиллит, алевролит, песчаники в приблизительно равных количествах) и алевролитно-песчаные литмиты. Кластогенные литмиты субрегионального распространения фиксируют крупные регрессивные эпизоды седиментации и играют роль стратиграфических реперов. Реконструированы седиментолого-палеоокеанографические обстановки осадконакопления кластогенных горизонтов в пределах северо-западного шельфа Черного моря и построены соответствующие модели. Установлено, что основными типами песчано-алевролитовых аккумулятивных тел являются бары, барьерные острова и конусы выноса. Впервые по результатам комплексных литогенетических исследований реконструированы обстановки осадконакопления кластогенных горизонтов олигодена-раннего миоцена в пределах северо-западного шельфа Черного моря и прилегающей суши, построены седиментационные модели для отдельных возрастных интервалов и установлен характер пространственно-возрастного распространения образований различного генезиса.

Практическая значимость. Изучение особенностей литологического строения толщ, создание седиментационных моделей будет способствовать уточнению определенных вопросов стратиграфического характера, выяснению пространственно-возрастного распространения осадочных тел разного состава и генезиса. Все это будет служить геологической (литогенетической) основой для более обоснованного прогноза пространственно-возрастного распространения нефтегазопрспективных объектов.

Ключевые слова: северо-западный шельф Черного моря, олигоцен-нижнемиоценовые (майкопские) отложения, палеоокеанография, аллювиально-дельтовая система, конус выноса, барьерный остров.

УДК: 551.82(477.63)

О. Матишук, асист.
Криворізький педагогічний інститут
ДВНЗ "Криворізький національний університет"
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, 50086, Україна
E-mail: matischuk@gmail.com

ПАЛЕОГЕОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МЕТАТЕРИГЕННИХ ВІДКЛАДІВ ГЛЕЮВАТСЬКОЇ СВИТИ КРИВОРІЗЬКОЇ СТРУКТУРИ

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

Палеогеографічна реконструкція глеюватської світи проводилася на основі таких методик: зіставлення коефіцієнтів інтенсивності вивітрювання та осадової диференціації О.О. Предовського, метод М.М. Страхова – "ідеальний профіль", відношення елементів-індикаторів і фаціальні умови осадконакопичення. За допомогою методики В.К. Головенька і в результаті порівняння хімічного складу порід глеюватської світи із середнім кларковим складом породоутворюючих окислів в магматогенних породах здійснено спробу реконструкції кліматичних умов осадконакопичення світи. Використання формаційного аналізу дозволило визначити ймовірні джерела надходження уламкового матеріалу та шляхи його транспортування.

Використовуючи вказані методики було виявлено, що породи глеюватської світи утворилися в прибережно-морських умовах, морський басейн осадконакопичення був мілководний з низьким ступенем солоності – прісноводна водойма. Зіставлення наближених кількісних оцінок інтенсивності вивітрювання та ступеня осадової диференціації для метаосадових товщ областей різних палеотектонічних режимів і утворень глеюватської світи та результатів застосування інших методик показало, що породи формувалися в умовах помірно активного ступеня активізації прогинання Криворізької структури.

Не менш важливим фактором, який вплинув на формування порід, є клімат. Застосування різних методик для реконструкції палеокліматичних умов дало різні результати. Одні методики показали, що породи сформувалися в умовах гумідного клімату, а інші, що в умовах аридного. Спираючись на ці дані можна припустити, що породи формувалися в перехідних кліматичних умовах між гумідними й аридними.

Формування басейну осадконакопичення було зумовлено підвищенням тектонічної активності району, в результаті якого відбулося різке опускання центральної частини Криворізької структури. Надходження уламкового матеріалу відбувалося з двох протилежних джерел: східний борт Саксаганського району на південному сході та Західно-Ганівських смуг на північному заході.

Ключові слова: палеогеографія, метаконгломерати, глеюватська світа, палеотектонічний режим, палеокліматичні умови.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перші відомості про конгломерати глеюватської світи наведено в роботах М.І. Світальського [19]. У Саксаганському рудному районі Кривбасу конгломерати світи описано Р.І. Ткач та ін., у Ганівському районі вони вивчалися М.Т. Рягузовим, Г.М. Струєвою і М.Н. Довгань [10-11, 19]. При вивченні грубоуламкового матеріалу теригенних утворень глеюватської світи в гальці карбонатних порід було встановлено рештки мікроорганізмів імовірно верхньопротерозойського й молодшого віку.

Протягом 90-х рр. дослідженням глеюватської світи займалися Г.І. Каляєв, Г.М. Яценко, І.С. Паранько [3, 10, 11, 19]. Ними було досліджено будову й речовинний склад метаосадових відкладів Криворізької структури загалом і глеюватської світи зокрема. Також у роботах І.С. Паранька і Г.М. Яценка було комплексно досліджено палеогеографічні умови формування глеюватської світи.

Останніми роками виходять праці В.В. Покалюка зі співавторами [1, 6, 12-13], роботи містять мінералогічно-петрографічну та стратиграфічну характеристику глеюватської світи за даними надглибокої свердловини. Крім того, на основі літохімічних даних охарактеризовано палеокліматичні умови формування Криворізької структури й, зокрема, глеюватської світи.

Формулювання цілей статті та постановка завдання. Нами було здійснено спробу детальнішого дослідження конгломератовмісних товщ криворізької структури та, на основі літохімічних даних, детальніше відтворення палеогеографічних умов денудації та акумуляції, а також джерел надходження уламкового матеріалу. Також метою було детальніше дослідити тектонічну активність регіону під час формування глеюватської світи.

Будова світи. На основі парагенетичного принципу виділення формацій, І.С. Паранько і Г.М. Яценко [11, 19] виділяють дві формації, що формують латеральний ряд: метаконгломератову моласоїдну та метапісковиково-сланцеву. Їм відповідають нижня й верхня підсвіти глеюватської світи, відповідно. Перша представлена асоціацією поліміктових конгломератів і грауваккових пісковиків, яким підпорядковані сланці. У будові елемента-

ртарного парагенезису другої беруть участь такі самі пісковики й сланці біотитового, кварц-біотитового, кварц-польовошпат-біотитового складу, розвинені в Саксаганському районі Кривбасу, та їх амфіболовмісні різновиди, характерні для Аннівського району.

Основний вигляд світи формує асоціація поліміктових конгломератів і грауваккових пісковиків, що утворюють своєрідні лінзоподібні тіла, витягнуті по простяганням Криворізької структури. Внутрішня будова тіл характеризується зміною потужності не тільки по простяганням, а й вхрест нього, при цьому поперечний профіль має асиметричну будову. У Саксаганському районі східна частина складена конгломератами й пісковиками з переважанням перших. У напрямку до Криворізько-Кременчуцького розлому відбувається поступове збільшення у складі світи пісковиків і сланцевих порід, що приводить до зміни асоціації конгломерат+пісковик пісковиково-сланцевою, що складає елементарну асоціацію порід верхньої підсвіти, яка змінює по простяганням нижню (конгломератову) підсвіту.

Аналогічна картина спостерігається й у межах Ганівського району, західна частина, різниця проявляється лише в тому, що зміна грубоуламкових асоціацій пісковиково-сланцевими відбувається із заходу на схід [10-11, 19].

Результати досліджень та їх обговорення. Як відомо [15], з віддаленням від джерел зносу грубоуламкові галечники конусів виносу переходять у прибережні відклади дельти; при цьому зазвичай берегова лінія зміщується в бік моря так, що грубоуламкові відклади, наступаючи, перебивають і заміщають прибережно-морські. На "змішану" змінну обстановку формування відкладів світи вказують також величини співвідношень груп елементів-індикаторів (табл. 1). Підтвердженням первинно седиментаційної природи утворень світи може бути характер розподілу елементів у літологічному ряді конгломерат-пісковик-сланець. На рис. 1 наведено результати масових спектральних аналізів порід зазначеного ряду (табл. 2). Нарощування значень вмісту елементів від конгломератів до пісковиків, у цілому,

підпорядковується відомій закономірності, властивій "ідеальному профілю" нормального осадового циклу [9]. У більшості випадків вміст елементів збільшується від континентальної та прибережної зон (конгломерати) до "пелагічної" (сланці). Розподіл елементів у "ідеальному

профілі" носить, згідно з М.М. Страховим [17], риси контрастного підтипу упорядкованого типу, що, в першу чергу, передбачає тривале й інтенсивне вивітрювання в областях знесення теригенного матеріалу та хороше сортування.

Таблиця 1

Величини співвідношень елементів-індикаторів і фаціальні умови осадконакопичення порід глеюватської світи (на основі даних [19])

Порода та відношення елементів-індикаторів	Величини відношень	Умови осадконакопичення [4-5, 18]
Конгломерати		
V : Cu	1,33	Морські
V : Zr	0,16	Континентальні
Пісковики		
Al : Ti	39,17	Прибережно-морські
V : Cu	2,94	Морські
V : Zr	0,36	Континентальні
Zr : Cu	8,18	Континентальні
Сланці		
Al : Ti	32,75	Морські
V : Cu	3,79	Морські
V : Zr	0,99	Морські
Zr : Cu	3,85	Континентальні

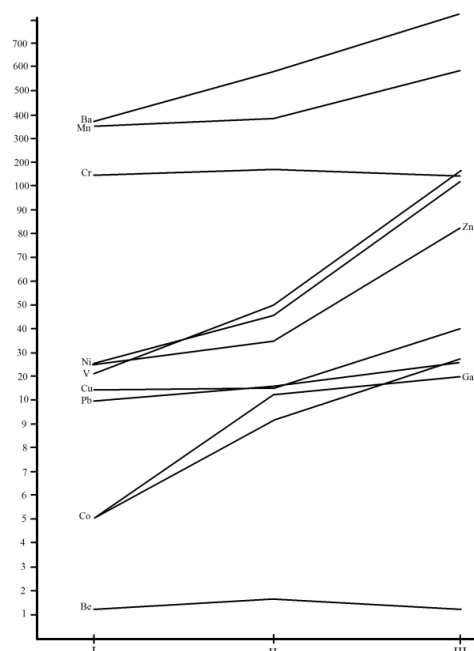


Рис. 1. Розподіл середніх значень елементів у метасадкових породах глеюватської світи (на основі даних табл. 2): I – конгломерати, II – пісковики, III – сланці

Таблиця 2

Середній вміст елементів у породах глеюватської світи (ум. од.) [19]

Елементи	Конгломерати	Пісковики	Сланці
Mn	355	394	568
V	20	50	148
Cr	132	157	143
Cu	15	17	39
Ni	26	46	121
Co	5	9	27
Ba	379	591	1300
Be	1,3	1,6	1,3
Ga	5	11	17
Pb	10	13	23
Zn	27	35	80

Використання відношення Fe/Mn як індикатора положення осадків на фаціальному профілі басейну показало, що значення відношення Fe/Mn у осадових породах зменшується зі збільшенням глибини та з переходом від шельфових фацій до пелагічних, що обумовлено поглинанням осадовими утвореннями Mn із морської води й

осіданням основної маси заліза в прибережно-морських обстановках. А зростання величини відношення Fe/Mn указує на обміління й опріснення басейну. Середнє відношення Fe/Mn для глеюватської світи, розраховане за 22 аналізами, становить 179,96 (min – 6,9, max – 529,16). Дані результати показують, що породи глеюватської світи

ти утворилися в прибережно-морських умовах з домінуванням теригенного матеріалу [7].

На палеосолоність басейну осадконакопичення вказує відношення C/S , запропоноване Р. Бернером і Р. Райсвеллом [7]. Розраховане для глеюватської світи, середнє відношення C/S – 71,39, що, за даними авторів, вказує на сильно опріснену воду в басейні осадконакопичення.

Однак, поліміктовий склад конгломератів, приналежність пісковиків до граувакк, низький ступінь зрілості пелітів світи ($Al_2O_3 : Na_2O$; $K_2O : Na_2O$ дорівнюють відповідно 6,99 і 1,71), а також відносно високі значення алюмокремнієвого модуля (для пісковиків – 0,17; для сланців – 0,23) суперечать цьому. В даному випадку, встановлений характер розподілу елементів, мабуть,

можна пояснити перенесенням більшості з них в завислому стані водними потоками, що мають підвищену гідродинамічну енергію, і перевідкладенням в "пелагічній" зоні басейну осадконакопичення. Така обстановка можлива тільки при активному тектонічному режимі, під час якого відбувалося швидке формування западини на одних ділянках і горотворення на інших.

Встановлення палеотектонічного режиму при осадконакопиченні порід глеюватської світи шляхом зіставлення коефіцієнтів W і d з такими, розробленими О.О. Предовським для метаосадових товщ областей переважання різних тектонічних режимів [14], свідчить про формування порід світи в прогинах, що характеризуються середнім і сильним ступенем активізації (табл. 3).

Таблиця 3

Зіставлення наближених кількісних оцінок інтенсивності вивітрювання та ступеня осадової диференціації для метаосадових товщ областей різних палеотектонічних режимів і утворень глеюватської світи

Типи зон за тектонічним режимом	Параметри за О.О. Предовським [14]		Параметри відкладів глеюватської світи [10, 11]	
	W	d	W	d
Стабілізовані прогини	80	17		
Помірно активізовані прогини	58	2,4		
Середньою та сильною мірою активізовані прогини	40	1,6	50,77	0,55
Помірно активізовані підняття	48	1,6		

Примітки: W – інтенсивність вивітрювання; d – ступінь осадової диференціації. Параметри розраховуються за формулами: $W = A_{cp} + K_{cp}$, де A – часткова глиноземистість ($Al_2O_3 - (K_2O + Na_2O + CaO)$); K – співвідношення лугів ($K_2O - Na_2O$); $d = (A_{пл} / F_{пс}) * 1000$, де $A_{пл}$ – середнє значення параметру A для метапелітів, $F_{пс}$ – середнє значення параметру F для метаспелітів ($(Fe_2O_3 + FeO + MgO) / SiO_2$).

Підтвердженням висловленого вище припущення про ступінь активізації території Криворізької структури під час формування порід глеюватської світи є діаграми

М. Бхатія (рис. 2). Більшість точок попадає на кордон двох полів: активних континентальних окраїн і пасивних окраїн, але з переважанням перших.

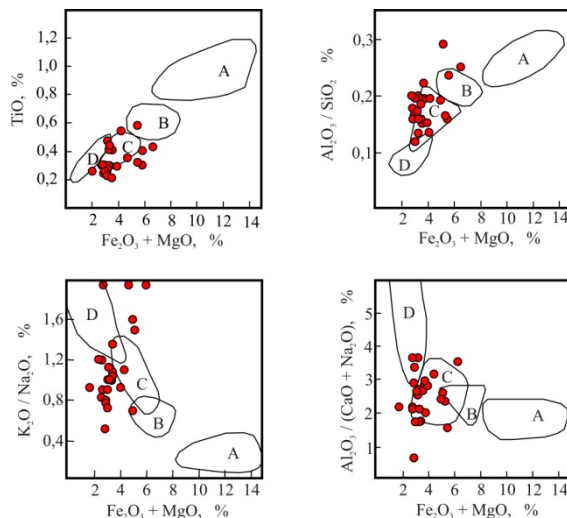


Рис. 2. Діаграми М. Бхатія для реконструкції тектонічних обстановок формування порід глеюватської світи (авторські, на основі даних [19]):

А – пісковики молодих (океанічних) острівних дуг; В – пісковики зрілих (приконтинентальних) острівних дуг; С – пісковики з обстановок активних континентальних окраїн; D – пісковики пасивних окраїн

Разом з тектонічним режимом, у взаємодії з ним, великий вплив на поведінку елементів у осадовому процесі, а також на характер складу теригених утворень, має кліматичний фактор. З метою відновлення палеокліматичних умов проводилося порівняння хімічного складу порід світи та аналогічних утворень відомих тектонічних та кліматичних обстановок постдокембрієського часу [2, 9].

Як видно з рис. 3а, фігуративні точки на діаграмі SAK утворюють поле, паралельне полю аридних пісків, і перекривають поле пісків гумідної зони, що вказує на риси відмінності клімату часу формування утворень світи від клімату пізніших геологічних епох, однак при

цьому спостерігаються риси подібності з помірним кліматом гумідних зон. Більш чітко ці ознаки виявляються при аналізі хімічного складу пелітів світи. На рис. 3б фігуративні точки сланців розподіляються між точкою усередненого складу морських глин, засолених лагун і озер аридного клімату та континентальних глин холодного й помірно холодного клімату. Аналогічні результати отримано й при порівнянні хімічного складу пелітів світи з середнім хімічним складом різних генетичних типів глин і сланців (рис. 4).

Основною рисою складу світи є поліміктовий склад її порід, що дозволяє паралелізувати глеюватську світу з поліміктовою літогенетичною ("кліматичною") формації-

єю, виділеною В.М. Синіциним [16], яка властива помірного клімату гумідних зон. Проте, як відомо [9, 16], поліміктові формації характерні для тектонічно активних областей, фіксуючи найбільш активні зрушення в ме-

жах районів знесення уламкового матеріалу, чим, очевидно, й можна пояснити таку контрастність, отриману при порівнянні утворень світи з еталонами порід кліматичних зон на наведених діаграмах.

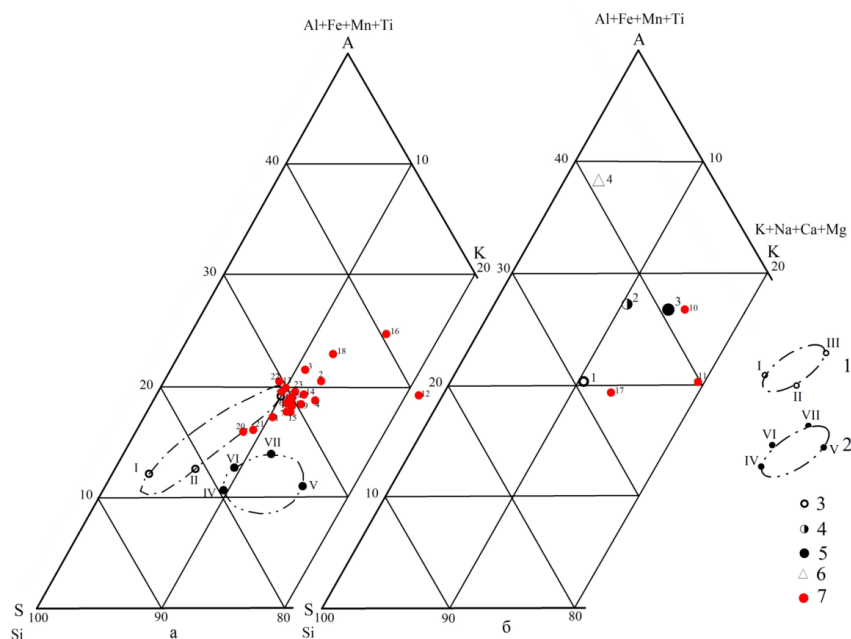


Рис. 3. Діаграма порівняння складу пісковиків (а) і сланців (б) глеюватської світи з "еталонними" типами пісків і глин різних кліматичних зон (на основі даних [19]):

1 – поле пісків гумідного клімату: I – континентальні, II – узбережно-морські, III – пелагічні; 2 – поле пісків аридного клімату: IV – континентальні, V – лагунні, VI – узбережно-морські, VII – пелагічні. Глини: 3 – континентальні холодного й помірно холодного клімату, 4 – морські, 5 – морські та засолених лагун і озер аридного клімату, 6 – континентальні вологого й жаркого клімату; 7 – фігуративні точки

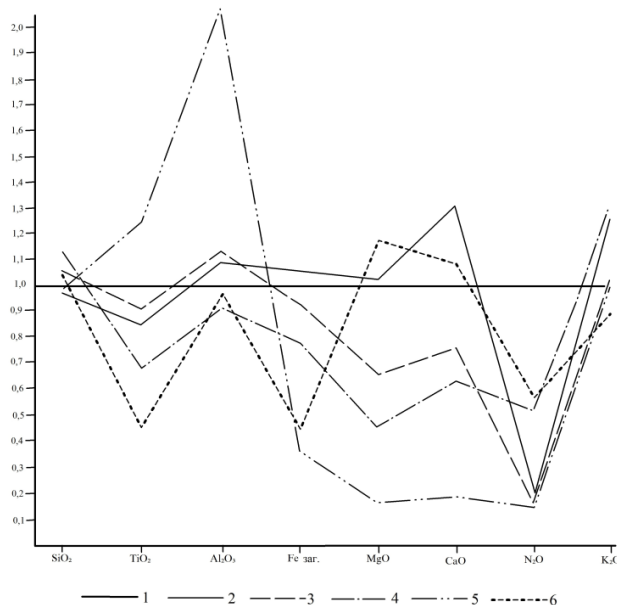


Рис. 4. Співвідношення середнього хімічного складу різних генетичних типів глин і сланців глеюватської світи (на основі даних [14]):

1 – середній хімічний склад магматичних порід, за Кларком і Вашингтоном; 2 – глини морські, засолених лагун і озер аридного клімату; 3 – морські глини; 4 – континентальні глини жаркого й помірно холодного клімату; 5 – континентальні глини жаркого й вологого клімату; 6 – сланці глеюватської світи

На протипагу зазначеним вище методикам з реконструкції палеокліматичних умов, які використовувались в інших роботах [7], було використано ще дві методики: розрахунку хімічного індексу вивітрювання (рис. 5) ($CIW = 100 \cdot Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$) і побудови палеокліматичної діаграми Л. Саттнера і П. Датта (рис. 6) [7].

Використання цих методик дало результати, протилежні попереднім. Вони показують, що породи глеюватської світи утворилися в умовах аридного клімату. Можливо, така розбіжність результатів свідчить, що породи формувалися в проміжних між гумідними й аридними палеокліматичними умовами.

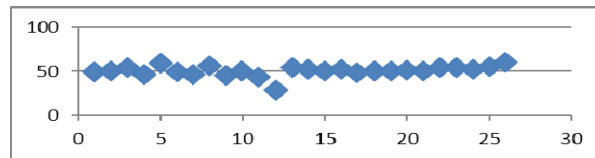


Рис. 5. Хімічний індекс вивітрювання (CIW) порід глеюватської світи (авторський, на основі даних [19]):
CIW до 70 – аридний клімат, CIW від 70 – гумідний клімат

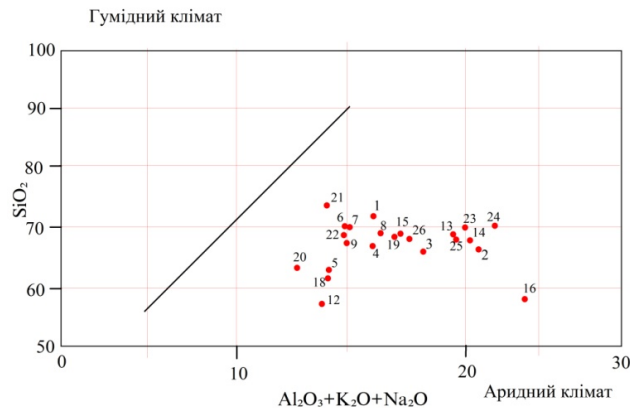


Рис. 6. Палеокліматична діаграма Л. Саттнера і П. Датта для порід глеюватської світи (авторська із залученням даних [19])

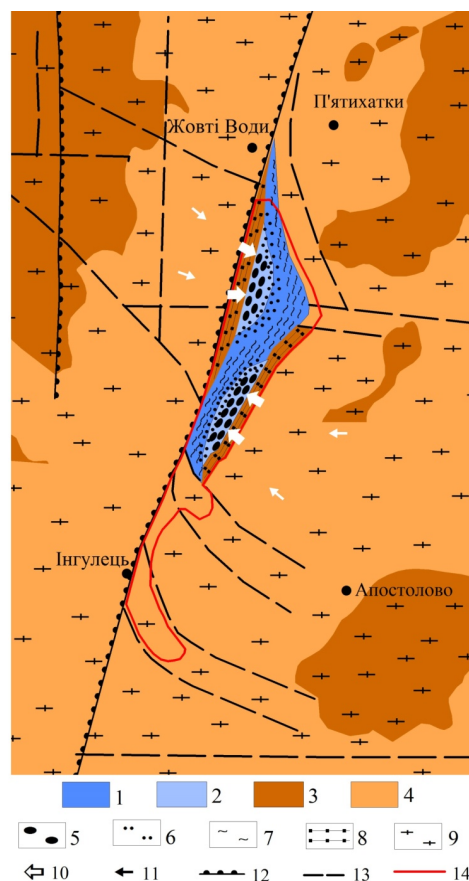


Рис. 7. Палеогеографічна схема формування глеюватської світи (на основі даних [11]):

1 – море мілке, прибережна частина, 2 – море глибоке, 3 – території додаткового знесення, 4 – території інтенсивного знесення, 5 – конгломерати, 6 – пісковики, 7 – сланці, 8 – породи криворізької структури, 9 – породи інгуло-інгулецького та середньопридніпровського комплексів, 10 – головні напрямки зносу уламкового матеріалу, 11 – другорядні напрямки зносу уламкового матеріалу, 12 – розломи мантийного закладання, 13 – розломи корового закладання, 14 – контур Криворізької структури

Формування басейну осаконакопичення було зумовлене підвищенням тектонічної активності району, в результаті якої відбулося різке опускання центральної частини Криворізької структури та здіймання східного борту Саксаганського району на південному сході й Західно-Ганівських смуг на північному заході. Підтвер-

дженням цьому є формування двох великих конусів виносу, що характеризуються протилежними напрямками знесення уламкового матеріалу (рис. 7). У першу чергу, розмивалися породи світ криворізького комплексу, що залягають нижче, свідченням чого є наявність гальки цих порід у нижніх частинах розрізу світи. Однак,

верхів'я палеопотоків, мабуть, досягали на південному сході ділянок розвитку порід аульського і середньопридніпровського комплексів, а на північному заході – інгуло-інгулецького, про що свідчить присутність порід зазначених комплексів у складі галечного матеріалу верхніх частин розрізів світи (гальки плагіо-, мікроклін-плагіоклазових гранітів і їх мігматитів, амфіболітів). Палеопотоки характеризувалися підвищеним гідродинамічним режимом, здатні були переносити великі (до валунів) уламки, а більш дрібний матеріал транспортувати в завислому стані.

Наявність двох роз'єднаних джерел уламкового матеріалу [11] і різних областей живлення для формування саксаганського й іванівського розрізів світи суперечить твердженням про приналежність басейну осадоконакопичення до западин передгірського типу, що утворюються на заключному, орогенному, етапі розвитку геосинкліналі [3]. Формування западини, очевидно, обумовлене рухами, викликаними посиленням тектонічної активності району, брилових гірських споруд північно-західної частини (Інгулецька брила) та Саксаганського купола на південному сході, що привело в кінцевому результаті до формування грабенподібного басейну, обмеженого розломами й заповненого теригенним матеріалом.

Висновки. Породи глеєватської світи утворилися в прибережно-морських умовах, морський басейн був мілководний з низьким ступенем солоності – прісноводна водойма. Під час формування порід процес тектонічного опускання характеризувався активним і середнім ступенем активізації. Також, не менш важливим фактором, який вплинув на формування порід, був клімат. Застосування різних методик для реконструкції палеокліматичних умов показало різні результати. Одні методики показали, що породи сформувалися в умовах гумідного клімату, а інші, що в умовах аридного. Спираючись на ці дані, можна припустити, що породи формувалися в перехідних між гумідними й аридними кліматичних умовах. Надходження уламкового матеріалу відбувалося з двох джерел і мало протилежні напрямки: зі східного борту Саксаганського району на південному сході та Західно-Ганівських смуг на північному заході.

Список використаних джерел

- Глеєватские метаконгломераты Кривбасса – континентальные молассы или прибрежно-бассейновые отложения? / Е. А. Кулиш, В. В. Покалюк, Н. С. Курлов, Ю. П. Мечников // Геохимия та екологія. Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2010. – № 18. – С. 7–26.
- Головенко В. К. Литология и палеогеография глинистых и обломочных толщ среднего протерозоя Байкальской горной области в связи с задачами прогноза распространения глиноземистого сырья и древних россыпей / В. К. Головенко // Проблемы осадочной геологии докембрия. – М.: Недра, 1966. – Вып. 1. – С. 17–32.
- Калыев Г. И. Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции / Г. И. Калыев. – Киев: Наук. думка, 1965. – 205 с.
- Катченков С. М. Малые химические элементы в осадочных породах и нефтях / С. М. Катченков // Тр. ВНИГРИ. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – Вып. 143. – 271 с.
- Кейт М. Л. Геохимические индикаторы морских и пресноводных осадков / М. Л. Кейт, Э. Т. Дегенс // Геохимические исследования. – М.: ИЛ, 1961. – С. 55–84.
- Коржнев М. Н. Метаосадочные петрохимические серии – критерий палеоклиматических реконструкций в раннем докембрии Криворожско-Кременчугской структурно-формационной зоны Украинского щита / М. Н. Коржнев, В. В. Покалюк // Доповіді Національної академії наук України. – 2013. – № 8. – С. 120–127.
- Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных. Учебное пособие / А. В. Маслов. – Екатеринбург: УГГУ, 2005. – 289 с.
- Мележик В. А. Геохимия раннепротерозойского литогенеза (на примере северо-востока Балтийского щита) / В. А. Мележик, А. А. Предовский. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
- Негруца Т. Ф. Палеогеография и литогенез протерозоя области сочленения карелид и беломорид / Т. Ф. Негруца. – Ленинград: Изд-во Ленинградского университета, 1979. – 254 с.
- Паранько И. С. Конгломераты в формациях Украинского щита / И. С. Паранько, В. А. Рябенко. – Киев, 1990. – 55 с.

- Паранько И. С. Метаконгломератовая и метапесчаниково-сланцевая формации верхней части разреза Криворожской структуры (глеєватська свита). Стаття 2. Особенности происхождения формации / И. С. Паранько, Г. М. Яценко // Геологический журнал. – 1990. – № 5. – С. 124–129.
- Покалюк В. В. Литохимия метакластогенных осадков верхов палеопротерозоя криворожского железорудного бассейна в аспекте палеогеографических и палеотектонических условий формирования / В. В. Покалюк, В. В. Сукач // Науковий вісник НГУ. – 2015. – № 2. – С. 14–23.
- Покалюк В. В. Седиментогенез в раннем докембрии Криворожского железорудного бассейна: литохимические типы и MINLITH-нормативный состав метаосадков / В. В. Покалюк, В. В. Сукач // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 6. – С. 5–14.
- Предовский А. А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия / А. А. Предовский. – Ленинград: Наука, 1980. – 152 с.
- Рухин Л. Б. Основы литологии / Л. Б. Рухин. – Л.: Недра, 1969. – 703 с.
- Синицын В. М. Введение в палеоклиматологию / В. М. Синицын. – Москва: Недра, 1967. – 232 с.
- Страхов Н. М. Основы теории литогенеза / Н. М. Страхов. – Москва: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 2. – 574 с.
- Шов Э. М. Геология кавказского и крымского флиша / Э. М. Шов // Литология и полезные ископаемые. – 1971. – № 3. – С. 84–101.
- Яценко Г. М. Метаконгломератовая и метапесчаниково-сланцевая формации верхней части разреза Криворожской структуры (глеєватська свита). Ст. 1. Строение и состав / Г. М. Яценко, И. С. Паранько // Геологический журнал. – 1990. – № 4. – С. 86–95.

References

- Kulish, E.A., Pokaljuk, V.V., Kurlov, N.S., Mechnikov, Ju.P. (2010). Gleevatskie metakonglomeraty Krivbassa – kontinentalnye molassy ili pribrezhno-basseynovye otlozheniya? [Metaconglomerates of the Gleevatskaya suite of the Kryvbass – continental molasses or near-shore deposits?] *Geokhimiia ta ekologiia. Collected papers of Institute of Environmental Geochemistry*, 18, 7-26. [in Russian].
- Golovenok, V.K. (1966). *Lithology and paleogeography of clayey and clastic strata of middle Proterozoic Baikal mountain region in connection with the tasks of forecasting the spread of alumina raw materials and ancient placers*. In *Problems of sedimentary geology* (Vol. 1, pp. 17-32). Moscow: Nedra. [in Russian].
- Kaliaev, G.I. (1965). *Tektonika dokembrija Ukrainskoj zhelezorudnoj provincii*. Kyiv: Naukova dumka. [in Russian].
- Katchenkov, S.M. (1959). *Malye khimicheskie elementy v osadochnykh porodakh i neftiakh*. In *Trudy VNIIGRI*. (Vol. 143, 271 p.). Leningrad: Gostoptekhzdat. [in Russian].
- Kate, M.L., Degenc, E.T. (1961). *Geochemical indicators of marine and freshwater sediments*. In *Geochemical studies* (pp. 55-84). Moscow: IL. [in Russian].
- Korzhnev, M.N., Pokaljuk, V.V. (2013). *Metaosadochnye petrokhimicheskie serii – kriterii paleoklimaticheskikh rekonstrukcii v rannem dokembrii Krivorozhsko-Kremenchugskoi strukturno-formatcionnoi zony Ukrainского shchita. Dopovidi Natsionalnoy akademiyi nauk Ukrainy*, 8, 120-127. [in Russian].
- Maslov, A.V. (2005). *Sedimentary rocks: methods of study and Interpretation the data obtained*. Ekaterinburg: UGGU, 289 p. [in Russian].
- Melezhik, V.A., Predovsky, A.A. (1982). *Geochemistry of Proterozoic lithogenesis (for example, the north-east of the Baltic Shield)*. Moscow: Nauka, 208 p. [in Russian].
- Negruca, T.F. (1979). *Paleogeografija i litogenez proterozoya oblasti sochlenenija karelid i belomorid*. Leningrad: Izd-vo Leningradskogo universiteta, 254 p. [in Russian].
- Paranko, I.S., Ryabenko, V.A. (1990). *Conglomerate formations of the Ukrainian Shield*. Kyiv, 55 p. [in Russian].
- Paranko, I.S., Yatsenko, G.M. (1990). *Metakonglomeratovaia i metapeschanikovo-slantcevaia formatcii verkhnei chasti razreza Krivorozhskoi struktury (gleevatskaia svita)* [Metaconglomerate and meta-sandstone-slate formation of the upper section of Krivoy Rog structure (Gleevatsky suite)]. Article 2. *Osobennosti proiskhozhdeniia formatcii* [Formation origin characteristics]. *Geologicheskii Zhurnal - Geological Journal*, 5, 124–129. [in Russian].
- Pokaljuk, V.V., Sukach, V.V. (2015). *Litokhimiia metaklastogennykh osadkov verkhov paleoproterozoya krivorozhskogo zhelezorudnogo basseina v aspekte paleogeograficheskikh i paleotektonicheskikh uslovii formirovaniia* [Lithochemistry of metaclastogenic sediments of upper Paleoproterozoic of Krivoy Rog iron-ore basin on aspects of paleogeographic and paleotectonic conditions of formation]. *Naukovyi visnyk NHU - Scientific Bulletin of National Mining University*, 2, 14-23. [in Russian].
- Pokaljuk, V.V., Sukach, V.V. (2014). *Sedimentogenez v rannem dokembrii Krivorozhskogo zhelezorudnogo basseina: litokhimicheskie typy i MINLITH-normativnyi sostav metaosadkov* [Early precambrian sedimentogenesis of Krivoy Rog iron-ore basin: lithochemical types and MINLITH-standard mineral composition of metasediments]. *Naukovyi visnyk NHU - Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 5-14. [in Russian].

14. Predovsky, A.A. (1980). *Reconstruction of conditions of sedimentation and volcanism in the early Precambrian*. Leningrad: Nauka, 152 p. [in Russian].
15. Rukhin, L.B. (1969). *Osnovy litologii*. Leningrad: Nedra, 703 p. [in Russian].
16. Sinitsyn, V.M. (1967). *Introduction to paleoclimatology*. Moscow: Nedra, 232 p. [in Russian].
17. Strakhov, N.M. (1960). *Osnovy teorii litogeneza*. (Vol. 2, pp. 574.). Moscow: AN SSSR. [in Russian].

18. Shov, E.M. (1971). Geologiya kavkazskogo i krymskogo flisha. *Lithology and Mineral Resources*, 3, 84-101. [in Russian].
19. Yatsenko, G.M., Paranko, I.S. (1990). Metakonglomeratovaia i metapeschanikovo-slantcevaia formatcii verkhnei chasti razreza Krivorozhskoi struktury (gleevatskaia svita) [Metaconglomerate and meta-sandstone-slate formation of the upper section of Kryvoy Rog structure (Gleevatsky suite)]. "Article 1. Stroenie i sostav [The structure and composition]. *Geologicheskii Zhurnal - Geological Journal*, 4, 86-95. [in Russian].

Надійшла до редколегії 09.03.16

O. Matischuk, Assistant
Kryvyi Rih Pedagogical Institute, SHEI "Kryvyi Rih National University"
54 Gagarina Ave., Kryvyi Rih, 50086 Ukraine
E-mail: matischuk@gmail.com

HLEYUVATSKA SUITE IN KRYVORIZHSKA STRUCTURE: PALEOGEOGRAPHIC FEATURES AND GENESIS OF METATERRIGENOUS DEPOSITS

The paleogeography of Hleyuvatska suite is reconstructed based on the following techniques: comparison of weathering coefficients and aqueous differentiation suggested by O.O. Predovsky; an 'ideal section' method suggested by N.M. Strakhov, which means correlating indicator elements and depositional environment. Using V.K. Golovenka method and comparing Hleyuvatska suite chemistry with the average abundance of rock-forming oxides in magmatogenic rocks, there is made an attempt to reconstruct climatic conditions of the suite's deposition. Formation analysis made it possible to define probable sources of fragmentary material and ways of its transportation.

By using the methods stated above it is revealed Hleyuvatska suite rocks to have been formed in the coastal marine conditions; marine pool sedimentation being shallow water with a low degree of salinity, a freshwater reservoir, actually.

The comparison carried to approximate quantitative estimates of weathering and sedimentation intensity in meta-sedimentary strata of different paleotectonics relative to Hleyuvatska suite genesis and other techniques shows rocks to have been forming in conditions of moderate subsidence of the Kryvyi Rih structure.

Climate is proved to be another factor to affect rock genesis. The use of different methods to reconstruct paleoclimatic conditions yielded diverse findings. Some methods show the rocks to have been formed in conditions of humid climate, while others in arid one. Relying on these data it can be assumed that the rocks were formed in the transition climatic conditions, from humid to arid, in fact.

Sedimentary basin genesis resulted from an increase in tectonic activity within the affected area, as a result of which there was a dramatic lowering of the central part of the Kryvyi Rih structure. Sedimentations of clastic material came from two oppositely directed sources: the easternmost Saksahanskyi region in the south-east and West-Hanivskyi zones in the north-west.

Keywords: paleogeography, metaconglomerates, Hleyuvatska suite, paleotectonics, paleotectonic conditions.

A. Матишук, ассист.
Криворожский педагогический институт
ГБУЗ "Криворожский национальный университет"
пр. Гагарина, 54, г. Кривой Рог, 50086, Украина
E-mail: matischuk@gmail.com

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГЛЕЕВАТСКОЙ СВИТЫ КРИВОРОЖСКОЙ СТРУКТУРЫ

Палеогеографическая реконструкция глееватской свиты проводилась на основе таких методик: сопоставление коэффициентов интенсивности выветривания и осадочной дифференциации А.А. Предовского, метода Н.М. Страхова – "идеальный профиль", метода отношения элементов-индикаторов и фациальных условий осадконакопления. С помощью методики В.К. Головенки и в результате сравнения химического состава пород глееватской свиты со средним кларковым составом породообразующих оксидов в магматогенных породах была предпринята попытка реконструкции климатических условий осадконакопления свиты. Использование формационного анализа позволило определить вероятные источники поступления обломочного материала и пути его транспортировки.

С использованием указанных методик было выявлено, что породы глееватской свиты образовались в прибрежно-морских условиях, морской бассейн осадконакопления был мелководным с низкой степенью солености – пресноводный водоем.

Сопоставление приближенных количественных оценок интенсивности выветривания и степени осадочной дифференциации для метаосадочных толщ областей различного палеотектонического режима и образований глееватской свиты и других методик, показало, что породы формировались в условиях умеренно активной степени активизации прогибания Криворожской структуры.

Также не менее важным фактором, который повлиял на формирование пород – это климат. Применение различных методик для реконструкции палеоклиматических условий показали разные результаты. Одни методики показали, что породы сформировались в условиях гумидного климата, а другие, в условиях аридного. Опираясь на эти данные можно предположить, что породы формировались в переходных климатических условиях между гумидным и аридным.

Формирования бассейна осадконакопления было обусловлено повышением тектонической активности района, в результате которой произошло резкое опускание центральной части Криворожской структуры. Поступления обломочного материала происходило с двух противоположно направленных источников: восточный борт Саксаганского района на юго-востоке и Западно-Ганновских полос на северо-западе.

Ключевые слова: палеогеография, метаконгломераты, глееватская свита, палеотектонический режим, палеоклиматические условия.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 551.1/4; 552

В. Сукач, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: svital@ukr.net;С. Курило, канд. геол. наук, наук. співроб.
E-mail: kurylo.sergiy@gmail.comІнститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України
пр. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна;О. Грінченко, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
E-mail: alexgrin@univ.kiev.uaКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут Геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, УкраїнаТОНАЛІТ-ТРОНД'ЄМІТ-ГРАНОДІОРИТОВІ (ТТГ) АСОЦІАЦІЇ
СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКОГО АРХЕЙСЬКОГО КРАТОНУ

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

Плагіогранітоїди складають близько 70% загальної площі Середньопридніпровського кратону (СПК), який виділяється в межах однойменного мегаблоку Українського щита (УЩ). Вони формують куполо- та валоподібні структури, між якими розташована низка зеленокам'яних поясів (структур) (ЗКС) синкліноної будови. Деякі дослідники УЩ ці плагіогранітоїди відносять до типових утворень тоналіт-тронд'єміт-гранодіоритової (ТТГ) асоціації/серії, проте така термінологія не набула широкого вжитку серед українських геологів. Метою даної публікації є визначення обсягу та загальних характеристик ТТГ асоціації СПК та їх порівняльний аналіз із подібними архейськими утвореннями відомих кратонів світу.

За речовинним складом архейські плагіогранітоїди СПК загалом подібні до ТТГ асоціації світу. До складу ТТГ асоціації Середнього Придніпров'я ми відносимо плагіогранітоїди дніпропетровського, саксаганського й сурського комплексів, за винятком: порід гіпабісального й вулканогенного вигляду, що складають невеликі масиви, субвулканічні тіла та дайки у межах ЗКС; різною мірою мігматизовані супракрустальні породи як основного, так і середнього до кислого складу; мікроклінізовані різновиди плагіогранітоїдів; деопольовошпатові гранітоїди, що часто відмічаються серед плагіогранітоїдів і можуть мати невиразні, поступові переходи із ними. Імовірна спорідненість плагіогранітоїдів дніпропетровського, саксаганського й сурського комплексів підтверджується валовим хімічним і мінеральним складом, вмістом і розподілом елементів-домішок та петрографічними особливостями.

За результатами аналізу наявних літературних даних можна зробити висновки, що формування плагіогранітоїдів відбувалось у віковому інтервалі 3,1-2,9 млрд р. Генезис ТТГ асоціації СПК, за аналогією з подібними утвореннями добре вивчених архейських кратонів світу, передбачає їх утворення за рахунок первісної мафітової протокори без зв'язку з ендегенними процесами, які супроводжували магматизм у межах ЗКС.

Питання ідентифікації та генезису ТТГ асоціації СПК потребують більш повного та комплексного обґрунтування як традиційними, так і сучасними прецизійними аналітичними методами.

Ключові слова: Український щит, Середньопридніпровський мегаблок, плагіогранітоїди, ТТГ асоціація.

Вступ. Головними структурно-речовинними компонентами ранньодокембрієвських кратонів світу є плагіогранітоїди тоналіт-тронд'єміт-гранодіоритової (ТТГ) асоціації або серії та сполучені з ними зеленокам'яні пояси [3, 11, 18]. До групи таких відомих архейських кратонів, як Каапваль і Зімбabwe в Південній Африці, Пілбар та Йілгарн у Австралії, Слейв, Сюперіор і Сан-Франциско в Північній та Південній Америці, Карнатака в Індії, ми відносимо також і Середньопридніпровський мегаблок (СПМ) Українського щита (УЩ). У його межах виділяється низка типових зеленокам'яних поясів (структур) синкліноної будови, що складені зонально метаморфізованими осадово-вулканогенними формаціями віком 3,2-2,9 млрд р [1, 6, 18]. Зеленокам'яні структури (ЗКС) розміщені між значно переважаючими їх за розмірами куполоподібними структурами, які складені гранітоїдами, що займають близько 70% загальної площі Середньопридніпровського кратону (СПК). Серед гранітоїдів найбільш поширеними є плагіоклазові різновиди плутонічного, мігматито- або гнейсоподібного вигляду, які деякими авторами [25, 11, 18] цілком виправдано ідентифікуються як утворення ТТГ асоціації, хоча така термінологія й не набула широкого вжитку серед вітчизняних дослідників.

Загальна характеристика ТТГ асоціації. На початкових етапах вивчення зеленокам'яних поясів у 60-70-і роки ХХ ст гранітоїди, які складали 70-90% території ранньодокембрієвських кратонів, виділялись як комплекс "сірих гнейсів". Назва походить від загального вигляду порід: наявність смугастої текстури та характерне забарвлення у сірих відтінках – як відображення переважної відсутності рожевого калієвого польового шпату в їх складі. Впе-

рше термін ТТГ (TTG) був застосований у роботі [25] до асоціації трьох генетично споріднених плутонічних типів порід, визначальних у складі комплексу "сірих гнейсів": тоналітів, тронд'ємітів і гранодіоритів.

Відповідно до літературних джерел, узагальнених Дж.-Ф. Мойсеном і Х. Мартіном [22, 23], породні різновиди ТТГ асоціації – це гранітоїди, які збагачені на кремнезем (вміст $\text{SiO}_2 > 64$ ваг. %, у середньому ~ 70 ваг. % або навіть більше), мають високий вміст натрію (3,0-7,0 ваг. % Na_2O) та низьке відношення $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (близько 0,5). Вони досить збіднені на фемічні оксиди (≤ 5 ваг. %). Більшість архейських ТТГ має $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$ при $\text{SiO}_2 = 70\%$ та належить до високоглиноземистої групи. За коефіцієнтом $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – (A/CNK близько 1) вони змінюються від нормальноглиноземистих та слабоперглиноземистих відмін, а A/CNK дещо зростає зі збільшенням кремнеземистості порід.

За мінералого-петрографічними ознаками плагіоклаз переважає в *тоналіті*, а лужні польові шпати в *граніті*, у той час, як у гранодіориті присутні обидва різновиди польових шпатів. Тронд'єміт представляє собою суттєво збагачений на кварц різновид тоналіту, який характеризується перевагою натрієвого польового шпату над калієвим. Кількість мафічних мінералів (біотит+рогова обманка+магматичний епідот [21]), присутніх у гранодіориті та тоналіті, може змінюватися в широких межах – від 20 до 40%, у той час, як вміст фемічних мінералів типових гранітів не перевищує декілька відсотків. Серед акцесорних мінералів переважають циркон, ортит, сфен, апатит та титаномagnetит.

Таким чином, до складу ТТГ асоціації СПК потенційно можна віднести мезоархейські (3,2-2,9 млрд років) плагіог-

гранітоїди дніпропетровського, сурського й саксаганського комплексів [10] за винятком останців різною мірою мігматизованих супракрустальних порід аульської серії, які найчастіше відмічаються у першому з них. Калішпатизовані породи, які сформувалися в результаті метасоматичних змін згаданих плагіогранітоїдних комплексів під впливом укорінення більш пізніх (2,9-2,8 млрд р) двопольовошпатових гранітоїдів, і самі гранітоїди demuри́нського, токівського та мокромосковського комплексів, до складу ТТГ асоціації також не включаються.

Постановка проблеми. Питаннями геологічної будови, петрології, віку та металогенії архейських плагіогранітоїдів СПК у різні роки займалися Г.В. Артеменко, Б.З. Берзенін, О.Б. Бобров, М.М. Доброхотов, К.Ю. Єсипчук, Л.В. Ісаков, С.Б. Лобач-Жученко, В.І. Орса, І.С. Паранько, А.В. Самсонов, А.О. Сіворонов, Л.М. Степанюк, В.В. Сукач, М.І. Толстой, В.М. Трощенко, Б.Я. Хорева, М.П. Щербак, О.Б. Щербаков та багато інших. Незважаючи на тривалий період вивчення, починаючи з другої половини ХХ до початку ХХІ ст., плагіогранітоїди дніпропетровського, саксаганського комплексів все ще залишаються серед найменш вивчених утворень СПК. Це обумовлено двома причинами: 1) у межах поширення цих порід майже не проводилось глибинне геологічне картування, що пов'язано з пануванням ідей про їхню загальну низьку перспективність на виявлення родовищ корисних копалин. З цієї ж причини маємо й малий обсяг фактичного матеріалу щодо їхніх геохімічних та ізотопно-геохімічних особливостей; 2) складність вивчення генезису таких утворень, оскільки вони багаторазово піддавались тектоно-метаморфічним перетворенням. Значно більше уваги було приділено плагіогранітоїдам сурського комплексу завдяки їхній просторовій асоціації з зеленокам'яними утвореннями та структурно-генетичним зв'язкам з проявами зруденіння золота, молібдену та інших металів.

Серед дослідників СПК найпоширенішою є точка зору [2, 4, 12], згідно з якою дніпропетровський комплекс розглядається як можливий фундамент для зеленокам'яного розрізу, а "сурські" й "саксаганські" плагіогранітоїди укорінилися по завершенні формування ЗКС. Проте, наявні геохронологічні дані, отримані для порід дніпропетровського комплексу [1, 5, 6, 16], свідчать про його формування практично синхронно із накопиченням вулканогенних зеленокам'яних товщ 3,2-2,9 млрд р тому. Більше того, становлення ТТГ асоціацій на добре вивчених древніх кратонах зазвичай генетично не пов'язується з формуванням архейських зеленокам'яних поясів [3] і може як передувати їм, так і бути синхронним або пізнішим.

У зарубіжній літературі [26, 28] домінують уявлення, що плагіогранітоїди як утворення первинної континентальної кори кислого складу сформувалися за рахунок перетворення більш древньої (примітивної) земної кори основного складу, релікти якої представлено численними ксенолітами амфіболітів серед них.

Отже, вивчення архейських плагіогранітоїдів важливе у зв'язку із вирішенням загальносвітової проблеми фундаменту зеленокам'яних поясів та розвитком наших уявлень про еволюцію земної кори в архейі загалом і в межах УЩ зокрема.

Метою публікації є визначення обсягу та загальних характеристик ТТГ асоціації СПК та їх порівняльний аналіз із подібними архейськими утвореннями відомих кратонів світу.

Виклад основного матеріалу. Геолого-петрографічна характеристика. Дніпропетровський комплекс має найбільше поширення в СПК (близько 50% площі кратону) і виступає в ролі своєрідного "каркасу" для всіх інших породних комплексів. Він представлений різно-

манітними за складом, структурою та текстурою кислими породами ультраметаморфогенного генезису: мігматитами й гнейсоподібними плагіогранітоїдами (граніто-гнейсами) тоналіт-тронд'ємітового складу з переходами до утворень типового плутонічного вигляду – тронд'ємітів, тоналітів, гранодіоритів, кварцових діоритів та діоритів. Серед них помітно переважають тоналіти й тронд'єміти [19] (назва "тронд'єміт" у даній роботі застосовується як синонім назви "плагіограніт"). Комплекс виділяється в обсязі формацій ультраметаморфічних діорит-плагіогранітових і граніт-плагіогранітових мігматитів [4]. У роботах В.І. Орси [13, 14] він фігурує як формація тоналітових граніто-гнейсів і мігматитів, що об'єднує гранітоїди гнейсоподібного або гнейсоподібно-смугастого мігматитового вигляду, які тісно пов'язані з метаморфічним або метапелитонічним субстратом (тип ІІ), і формація кварцових діоритів (тип І). До останньої автор відносить кварцові діорити, діорити та тоналіти Лоцкам'янського (Ямбурзького) масиву, який відслонюється південніше м. Дніпропетровськ вздовж лівого берега Дніпра у низці кар'єрів. Дослідники Середнього Придніпров'я одностайні в тому, що породний склад дніпропетровського комплексу значною мірою контролюється складом вихідного субстрату та процесами гранітоутворення. За даними геохронологічних досліджень [1, 4-6, 12, 18], у складі комплексу умовно можна виділити дві вікові групи плагіогранітоїдів: 3,09-3,07 і 3,0-2,9 млрд р. Проте, ці групи не корелюються з виділеннями вище типами І і ІІ.

Макроскопічно плагіогранітоїди комплексу це породи світло-сірого, сірого, темно-сірого кольорів, дрібно-, середньодрібно- або середньозернисті, подекуди слабзорозсланцьовані, катаклазовані. Текстура порід смугаста, гнейсоподібна, масивна; структура нечітка гіпідіоморфнозерниста, інколи порфіроподібна, подекуди відмічаються елементи гранобластової. Головними мінералами є плагіоклаз (альбіт-олігоклаз), кварц, зрідка мікроклін. Темноколірні мінерали представлені біотитом, епідотом, мусковітом, магнетитом, акцесорні – цирконом (малакон), апатитом, сфеном, ортитом. У тоналітах, зазвичай, з'являються перші відсотки амфіболу, а в гранодіоритах і кварцових діоритах його кількість зростає до 6-35%.

Сурський комплекс включає в себе плутонічні утворення тоналіт-плагіогранітної формації [2], які, зазвичай, обрамляють ЗКС у складі видовжених або ізометричних масивів, що, відповідно, простягаються вздовж їхніх контактів або локалізовані між їхніми хвістоподібними відгалуженнями. Найбільш розповсюдженими породами у складі масивів є біотитові, рідше роговообманково-біотитові, тоналіти, що складають не менш, ніж 50% загального обсягу. Тронд'єміти поступаються тоналітам за поширеністю; зрідка відмічаються кварцові діорити, гранодіорити та низьколужні граніти. До складу комплексу відносяться також гіпабісальні масиви та субвулканічні тіла, які розміщуються безпосередньо в межах ЗКС. Для них відмічаються чітка вікова кореляція з кислими ефузивами в складі зеленокам'яного розрізу та, переважно, тоналіт-гранодіоритовий склад. Становлення масивів тоналіт-плагіогранітної формації обмежується віковим інтервалом 3,1-2,95 млрд р [1-2, 6], тоді як субвулканічні утворення мають дещо ширші межі формування, які добре зіставляються з періодом накопичення зеленокам'яного розрізу – 3,2-2,9 млрд р. На наш погляд, останні варто відрізнити у самостійну хроностратиграфічну одиницю [17].

Тоналіти найбільш вивченого Сурського (Сурсько-Литовського) масиву [2] представляють собою сірі масивні породи, часто з нечітко вираженою гнейсоподібною текс-

турою. Структура середньозерниста, гіпідіоморфнозерниста, подекуди з елементами гетерогранобластової. Головними мінералами є плагіоклаз та кварц, серед другорядних біотит, епідот, мусковіт. Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом, ортитом та магнетитом.

Саксаганський комплекс поширений вздовж західної границі СПК у районі Криворізької структури. За структурною позицією, віком (3067 ± 8 млн р [16]) та мінералогічно-петрографічними особливостями цілком виправдано є пропозиція об'єднати його із сурським. У літературі гранітоїди саксаганського типу часто йменувалися як кременчуцькі. Близькими до них за складом і віком є також інгулецькі плагіогранітоїди [24]. Саксаганський комплекс складений утвореннями тоналіт-тронд'ємітового ряду. Тронд'єміти переважають над тоналітами, відмічається певний обсяг кварцових діоритів, а також мігматитів і граніто-гнейсів тоналітового складу [13]. Релікти порід

метаморфічного субстрату серед цих гранітоїдів відмічаються в обмеженій кількості.

Саксаганські плагіогранітоїди представлені біотитовими, рідше амфібол-біотитовими, різновидами, які є гомогенними за структурою та мінеральним складом. Текстура масивна та гнейсоподібна, структура середньо- й дрібнозерниста. Головні мінерали представлені плагіоклазом та кварцом, темноколірні – біотитом, роговою обманкою. Серед акцесорних мінералів – циркон, апатит, сфен, магнетит, ільменіт, монацит [19].

Петрохімічна та геохімічна характеристика. Для загальної петрохімічної характеристики було використано близько 400 аналізів валового хімічного складу гранітоїдів, як із фондових та літературних джерел [7, 12, 14-15, 19, 25, 28], так і з авторських колекцій. Середній хімічний склад архейських гранітоїдних комплексів наведено в зведеній табл. 1.

Таблиця 1

Середній хімічний склад та петрохімічні особливості плагіогранітоїдів СПК

Середній хімічний склад та петрохімічні особливості планових рудовід Сік																
	Дніпропетровський комплекс									Сакаганський комплекс			Сурський комплекс			
	тип-I				тип-II											
*	1	2	3	4	1	2	3	4	5	3	4	5	2	3	4	5
SiO ₂	57,13	59,95	66,30	70,20	56,22	61,30	65,79	70,53	74,01	66,57	70,48	74,35	62,21	65,96	70,22	74,97
TiO ₂	0,67	0,60	0,43	0,29	0,56	0,57	0,51	0,28	0,20	0,40	0,34	0,11	0,53	0,46	0,34	0,17
Al ₂ O ₃	18,72	18,24	16,45	15,68	17,10	17,32	16,32	15,08	13,45	15,23	15,04	13,84	17,35	16,25	14,83	13,10
Fe ₂ O ₃	2,41	2,12	1,59	1,15	2,53	2,07	1,69	0,96	0,91	1,43	0,70	0,11	2,13	1,84	1,19	0,56
FeO	4,10	3,74	2,55	1,60	4,57	3,55	2,86	1,83	1,45	3,35	2,26	1,37	2,63	2,31	1,77	1,31
MnO	0,11	0,08	0,05	0,03	0,11	0,09	0,06	0,04	0,04	0,12	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06
MgO	3,30	2,63	1,27	0,84	3,50	2,38	1,55	0,92	0,69	2,05	1,13	0,46	2,06	1,60	1,15	0,63
CaO	6,75	5,64	3,93	3,12	7,09	5,35	4,02	2,86	2,25	3,40	2,81	1,68	4,30	3,50	2,44	1,34
Na ₂ O	4,26	4,26	4,78	4,72	4,07	4,26	4,30	4,46	4,10	4,86	4,35	3,86	4,56	4,44	4,46	4,26
K ₂ O	1,06	1,27	1,38	1,57	1,78	1,64	1,75	1,90	1,85	1,49	1,85	3,22	1,38	1,80	1,92	2,30
P ₂ O ₅	0,20	0,21	0,15	0,09	0,47	0,22	0,15	0,11	0,05	0,08	0,07	0,04	0,16	0,21	0,10	0,05

Примітка: * види гірських порід відповідно до Петрографічного кодексу України (1999): 1 – діорит, 2 – кварцовий діорит, 3 – тоналіт, 4 – тронд'єміт, 5 – лейкократовий тронд'єміт

За хімічним складом розглянуті плагіогранітоїди СПК є досить близькими між собою, а за середніми значеннями головних петрогенних компонентів вони подібні до порід ТТГ (TTG) асоціації світу [21]. Порівняно з середнім складом земної кори, плагіогранітоїди вирізняються нижчим вмістом фемічних компонентів, близьким до середнього складу кори вмістом Al₂O₃, SiO₂, K₂O (за винятком дніпропетровських (тип I) і саксаганських плагіогранітоїдів) та вирізняються чітким максимумом вмісту натрію.

На класифікаційній діаграмі нормативного складу Ab-An-Or (рис. 1-а) гранітоїди формації кварцових діоритів (тип I) характеризуються малою варіативністю за нормативним складом і відповідають, у більшості випадків, **тоналітам** з підпорядкованою кількістю **тронд'ємітів**. Характерною особливістю гранітоїдів цього типу є доволі низький вміст кремнезему (середнє значення 64,48 ваг.%), завдяки чому вони утворюють безперервний ряд від діоритів до плагіогранітів; кварцові діорити та тоналіти мають домінуюче положення, а лейкограніти не представлені взагалі. Також, порівняно з іншими гранітоїдними комплексами, збагачені на оксиди Mg, Fe, Ca та Al. Характерною особливістю цієї групи гранітоїдів є мала варіативність лугів та кальцію. Середній вміст CaO – 4,51 ваг.%, що свідчить про їхнє можливе походження за рахунок перетворення первісної базитової кори [19]. Сума лугів найнижча з-поміж інших гранітоїдів комплексів, а відношення K₂O/Na₂O досить стійке, коливається у межах 0,2-0,44.

Гранітоїди формації ультраметаморфічних діорит-плагіогранітових і граніт-плагіогранітових мігматитів (тип-II) характеризуються значною невтриманістю хімічного складу. Це добре ілюструє діаграма An–Ab–Or (рис. 1-а), на котрій за нормативним складом вони утворюють породний ряд від найбільш до мало поши-

рених: **тоналіт – тронд'єміт – гранодіорит – граніт**. Останні два породні члени мають різко підпорядковане значення, а їх присутність визначається поширенням проявів більш пізніх процесів мігматизації та мікроклінізації. Вміст CaO дещо нижчий, ніж у гранітоїдах типу I, – 3,46 ваг.%. Часткове плавлення первинних порід супроводжувалося збагаченням на калій та підвищенням частки салічних компонентів. Тому для цієї групи гранітоїдів характерний високий вміст лугів із середнім значенням 6,18 ваг.%, що є найвищим з-поміж інших плагіогранітоїдних комплексів, що розглядаються. Збільшення суми лугів супроводжується стрімким зростанням відношення K₂O/Na₂O від 0,12 до 1,36.

Гранітоїди дніпропетровського комплексу серед інших плагіогранітоїдних комплексів вирізняються за вищим вмістом Sr (575-740 г/т), що добре корелюється з високим валовим вмістом CaO, а також V та Y. Для цих самих гранітоїдів характерний найнижчий вміст Rb (10-50 г/т) та, відповідно, найнижче відношення Rb/Sr – 0,1 (табл. 2).

Сумарний вміст рідкісноземельних елементів (РЗЕ) у плагіогранітоїдах кварц-діоритової формації (тип I) $\sum TR_n$ у 320-570 разів вищий, ніж у хондриті. Легкі лантаноїди помітно переважають над важкими (La/Yb)_n – 8,8-15,9 – та проявляється слабо виражена негативна європейська аномалія Eu/Eu* – 0,82-0,94 (рис. 2-а).

Вміст РЗЕ у гранітоїдах типу II [9] доволі неоднорідний: сумарний вміст у кварцових діоритах складає 49,8 г/т, у тоналітах – 109,9 г/т, у тронд'ємітах – 170 г/т. Сумарний вміст $\sum TR_n$ у 94-300 разів переважає над хондритовим. Для всіх різновидів типу II характерно переважання легких лантаноїдів над важкими (La/Yb)_n – 12,5-25,7. У тоналітах та тронд'ємітах слабо виражена позитивна європейська аномалія Eu/Eu* – 1,1-1,18, у кварцовому діориті майже не проявлена – 0,98.

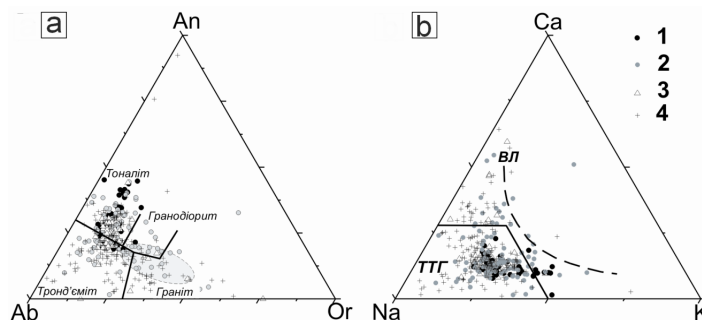


Рис. 1. Діаграма розподілу головних компонентів плагіогранітоїдів Середнього Придніпров'я:

а – класифікаційна діаграма за нормативним складом An–Ab–Or, сіре поле показує статистичне положення фігуративних точок гранітоїдів сучасної континентальної кори; б – трикутна діаграма в координатах Na–K–Ca.

Умовні позначення на діаграмах: ТТГ та суцільна лінія показують границю статистичного розповсюдження фігуративних точок порід тоналіт-тронд'єміт-гранодіорової асоціації. Сірим полем обмежено область поширення гранітоїдів, збагачених калієм; ВЛ – вапнисто-лужний тренд, який характеризує збагачення калієм внаслідок магматичної диференціації, при цьому переважна більшість гранітоїдів ТТГ асоціації його не проявляють. Арабські цифри на діаграмі б, плагіогранітоїдні комплекси:

1, 2 – дніпропетровський, 1 – формація кварцових діоритів (тип I), 2 – формації ультраметаморфічних діорит-плагіогранітових і граніт-плагіогранітових мігматитів (тип II); 3 – саксаганський; 4 – сурський

Таблиця 2

Порівняння середніх петрохімічних характеристик плагіогранітоїдів СПК та ТТГ асоціацій світу

	Комплекс									
	Дніпропетровський				Саксаганський		Сурський		ТТГ [23]	
	тип-I		тип-II							
N	43	св.	109	св.	51	св.	183	св.	1439	св.
SiO ₂	64,48	5,64	68,43	4,77	69,79	2,71	69,35	4,6	69,15	3,29
TiO ₂	0,45	0,2	0,37	0,2	0,34	0,12	0,35	0,22	0,36	0,16
Al ₂ O ₃	17,03	1,6	15,44	1,55	14,95	1,17	15,05	1,89	15,53	1,05
FeO*	4,35	1,81	3,46	1,59	3,25	1,31	3,12	1,44	2,73	1,21
MnO	0,06	0,04	0,05	0,03	0,06	0,11	0,07	0,07	0,05	0,08
MgO	1,76	1,08	1,28	0,8	1,33	0,85	1,26	0,85	1,16	0,72
CaO	4,51	1,54	3,45	1,4	2,88	0,87	2,67	1,4	3,14	1,12
Na ₂ O	4,55	0,51	4,34	0,69	4,39	0,81	4,42	0,94	4,84	0,77
K ₂ O	1,41	0,4	1,82	1,13	1,88	1,47	1,89	1,18	1,7	0,71
V	74,84	9,5	-	-	40,9	9,5	60,4	14,0	32,86	23,33
Cr	39,85	34,8	-	-	16,1	11,5	295,7	108,4	40,36	23,33
Ni	15,1	9,5	-	-	9,2	2,6	17,1	8,2	36,35	94,06
Cu	60,3	35,9	-	-	44,7	22,3	47,7	16,2	-	-
Zn	66,6	14,6	-	-	55,4	10,9	56,0	10	-	-
Rb	33,6	11,2	-	-	43,9	12,4	49,3	3,6	55,55	32,15
Sr	728,7	117,7	-	-	220,2	41,9	655,7	32,2	492,91	203,42
Ba	955,3	121	-	-	474,4	63,1	1025,9	137,2	530,64	379,76
Zr	115,3	119	-	-	178,4	139,4	113,0	13,4	139,51	74,49
Nb	16,2	4,8	-	-	15,8	4,7	15,4	4,3	5,2	3,59
Y	31,9	5,6	-	-	17,8	3,6	18,9	3,1	9,18	13,01
Rb/Sr	0,05				0,2		0,1		0,1	
Петрохімічні коефіцієнти										
F	60,17	9,3	61,36	9,8	60,32	9,67	59,63	11,42	56,91	
Mf	6,63	2,9	5,16	2,5	4,98	2,11	4,7	2,26	4,3	
K ₂ O/Na ₂ O	0,32	0,1	0,48	0,5	0,45	0,42	0,48	0,4	0,35	
K ₂ O+Na ₂ O	5,96	0,6	6,17	1,0	6,27	1,51	6,25	1,1	6,5	
A/CNK	1,12	0,15	1,12	0,15	1,16	0,15	1,2	0,16	1,13	
Aq	0,43	0,08	0,5	0,1	0,53	0,19	0,53	0,14	0,52	

Примітка: n – кількість аналізів, F – Fe/(Fe+Mg), ат.%; Mf – (FeO+MgO+Mn+TiO₂), ваг.%; A/CNK – Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), молек. част.; ag – (K+Na)/Al, ат.част., FeO* – FeO+0,9*Fe₂O₃ ваг.%; св. – стандартне відхилення.

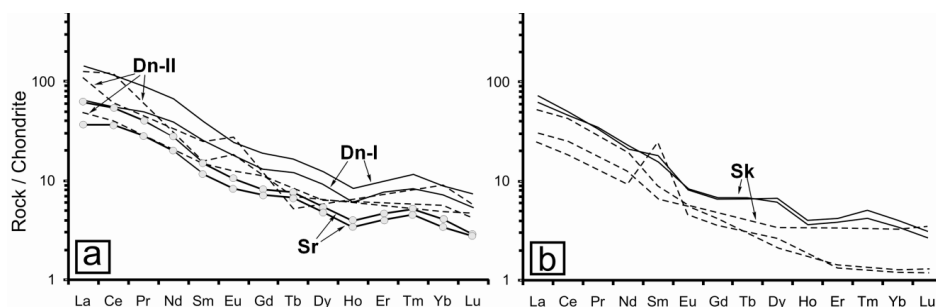


Рис. 2. Розподіл рідкісноземельних елементів, нормованих на хондрит [6]:

а – плагіогранітоїди дніпропетровського (формація: кварцових діоритів – тип I (Dn-I), тоналітових граніто-гнейсів і мігматитів – тип II (Dn-II)) та сурського (Sr) комплексів; б – плагіогранітоїди саксаганського комплексу (Sk).

Суцільні лінії – за результатами авторських аналізів, пунктирні – запозичені з літературних джерел

За нормативним складом гранітоїди *саксаганського* комплексу доволі однорідні та приблизно рівною мірою відповідають тронд'ємітам і тоналітам (рис. 1-б). За вмістом кремнезему серед породних членів відсутні діорити та кварцові діорити. За середнім вмістом SiO_2 вони є близькими до гранітоїдів сурського комплексу. Подібно до гранітоїдів дніпропетровського комплексу II типу, для них також характерне зростання відношення $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, яке проявляється зі зростанням лужності, але з менш похилою лінією тренду. У цілому, за валовим хімічним складом гранітоїди *саксаганського* комплексу є більш близькими до гранітоїдів сурського комплексу.

За вмістом елементів-домішок *саксаганські* гранітоїди від інших плагіогранітоїдних комплексів вирізняються нижчим вмістом Ba (438-556 г/т), Sr (140-290 г/т), Cr (9-46 г/т) та вищим Zr (80-550 г/т) (табл. 2).

За вмістом і розподілом РЗЕ [9] *саксаганські* плагіограніти помітно відрізняються від дніпропетровських. Хондритнормовані криві мають досить компактне розміщення (рис. 2-б). Сумарний вміст РЗЕ $\Sigma \text{РЗЕ}_n$ у 228-244 рази переважає над хондритовим. Відмічається найбільша перевага легких лантаноїдів над важкими $(\text{La}/\text{Yb})_n - 18,2-18,6$, порівняно з іншими комплексами, а також чітко проявляється негативна європейська аномалія, яка в більшості випадків складає $\text{Eu}/\text{Eu}^* - 0,63-0,76$. Є окремі визначення $\text{Eu}/\text{Eu}^* - 0,33$ та 1,08.

Гранітоїди *сурського* комплексу мають невитриманий хімічний склад. За нормативним складом вони представлені, у порядку зменшення поширеності: тронд'єміти – тоналіти – граніти – гранодіорити. Останні мають різко підпорядковане значення. Середній вміст кремнезему для них є найвищим з-поміж інших плагіогранітоїдних утворень СПК – 69,4 ваг.%. Відношення калію до натрію збільшується зі зростанням лужності подібно до гранітоїдів *саксаганського* комплексу.

Для гранітоїдів сурського комплексу, порівняно з іншими плагіогранітоїдними комплексами, характерний найвищий вміст Ba (818-1300 г/т), Rb (40-55 г/т), сиде-

рофільних елементів. Вміст Zr (90-135 г/т) нижчий, ніж у гранітоїдах *саксаганського* комплексу, однак близький до дніпропетровського [15]. Відношення Rb/Sr – 0,1 наближається до середнього складу ТТГ асоціацій світу.

Гранітоїди відносно збагачені на деякі літофільні компоненти, в породах деяких масивів зафіксовано підвищений вміст рідкісних земель та ітрію – Ce-40, La-25, Yb-10, Y-13 [15]. У той самий час, халькофільні елементи зрідка сягають кларкових значень. Подібно до інших комплексів, відмічається переважання легких лантаноїдів над важкими – $(\text{La}/\text{Yb})_n - 10,9-15,2$ з незначною негативною європейською аномалією – $\text{Eu}/\text{Eu}^* - 0,82-0,91$. Сумарний вміст РЗЕ ΣTR_n у 179-251 раз переважає над хондритовим. У цілому, характер ліній розподілу РЗЕ (REE) (рис. 2-а) подібний до плагіогранітоїдів дніпропетровського та *саксаганського* комплексів.

Порівняльний аналіз. Плагіогранітоїди описаних вище комплексів за середнім валовим хімічним складом цілком подібні до ТТГ (TTG) серії світу [23], за винятком дещо підвищених значень вмісту MgO та FeO у перших. Порівняно із середнім складом земної кори, вони збіднені на мафічні компоненти та вапно. Вміст K_2O , SiO_2 та Al_2O_3 подібний до утворень верхньої кори, а за вмістом Na_2O вони сильно збагачені порівняно з нею. На потрібній діаграмі K-Na-Ca всі плагіогранітоїди комплексів СПК потрапляють у поле розповсюдження типових архейських утворень ТТГ (TTG) асоціацій (рис. 1-а).

На петрохімічній діаграмі (рис. 3-а) плагіогранітоїди відповідають утворенням нормальної лужності, вапнистої та вапнисто-лужної петрохімічних серій. Незначне переважання глинозему над сумою вапна та лугів обумовлює незначну пересиченість глиноземом (нормативний корунд близько 1% або менше). Залізистість порід коливається у вузьких межах – 59-61 ат.%, та зростає зі збільшенням вмісту кремнезему. Всі гранітоїди характеризуються чітким трендом до збіднення на CaO, TiO_2 , FeO, MgO, Al_2O_3 (табл. 1). Гранітоїди *саксаганського* комплексу вирізняються "крутішим" трендом CaO, MgO, Al_2O_3 порівняно з гранітоїдами інших комплексів.

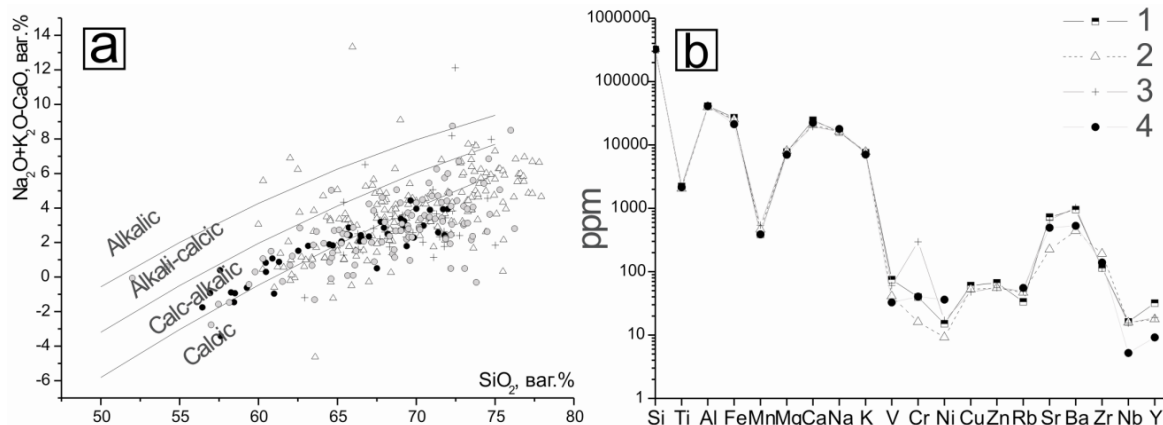


Рис. 3. Петрохімічні особливості гранітоїдів СП:

а – серійна належність гранітоїдів за [26], умовні позначення як до рис. 1; б – середній хімічний склад плагіогранітоїдних комплексів: 1 – дніпропетровський, 2 – саксаганський, 3 – сурський, 4 – середній склад ТТГ світу

Зі зростанням SiO_2 вміст Na_2O практично не змінюється, а вміст K_2O найбільш невитриманий, порівняно з іншими петрогенними компонентами. Визначається й така тенденція – для діоритів та тоналітів поведінка K_2O відносно інертна та подібна до Na_2O , а у тронд'ємітах загальні значення вмісту K_2O помітно зростають. Така тенденція найкраще проявлена у гранітоїдах *саксаганського* й *сурського* комплексів, трохи менше у гранітоїдах II групи ("стрибки" вмісту калію спостерігаються майже по всій виборці) і майже не проявлена для гранітоїдів I групи

дніпропетровського комплексу. Визначається зростання загальної лужності гранітоїдів, що супроводжується зростанням відношення $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$. У той же час, високі значення вмісту K_2O не є закономірним явищем для досліджуваних вибірок, а скоріше, є окремими випадковими відгалуженнями, які відхиляються від загальної тенденції. Можливо, невитримана поведінка K_2O та витриманий розподіл CaO, Al_2O_3 , TiO_2 , FeO є віддзеркаленням більш пізніх проявів мігматизації та мікроклінізації. Середній вміст K_2O у плагіогранітоїдах СПК коливається у межах

1,4-1,8 ваг.%, а у складі ТТГ (TTG) асоціацій – 1,39 ваг.%. На нашу думку, плагіогранітоїди зі значеннями вмісту K_2O у понад 2,2 ваг.% є такими, що піддалися більш пізнім процесам мікроклінізації.

Середній вміст мікроелементів у плагіогранітоїдах СПК досить схожий з таким у породах ТТГ асоціацій світу; відмічаються дещо вищі концентрації Y, Nb та дещо нижчі Rb і Zr (окрім утворень саксанського комплексу) (табл. 2, рис. 3-б).

До цього необхідно додати, що для плагіогранітоїдів дніпропетровського, саксанського й сурського комплексів характерні подібний речовинний склад, вік та, часто, відсутність чітких контактів з близькими за складом вміщувачими породами. В умовах значної закритості території це обумовлює зближені значення параметрів електромагнітних полів, що ускладнює чітку ідентифікацію їх геофізичними методами при геологічній зйомці. Не завжди діагностуються однозначно плагіогранітоїди різної хроностратиграфічної належності й у наявних природних і штучних відслоненнях, ще проблематичніше – у свердловинах.

Висновки:

1. За речовинним складом архейські плагіогранітоїди СПК загалом подібні до ТТГ асоціацій світу. Серед них найпоширенішими є тронд'єміти й тоналіти, з незначним переважанням перших, а гранодіорити, разом із кварцовими діоритами, і, подекуди, діоритами, знаходяться у вельми підпорядкованій кількості.

2. До складу ТТГ асоціацій Середнього Придніпров'я ми відносимо плагіогранітоїди дніпропетровського, саксанського й сурського комплексів, за винятком: порід гіпабісального та вулканогенного вигляду, що складають невеликі масиви та субвулканічні тіла й дайки у межах ЗКС та, зазвичай, розглядаються у складі ранніх фаз сурського комплексу; різною мірою мігматизовані супракрустальні породи як основного, так і середнього та кислого складів; калійшпатизовані різновиди плагіогранітоїдів; двопольовошпатові гранітоїди, що часто відмічаються серед плагіогранітоїдів і можуть мати нечіткі, поступові переходи із ними.

3. Імовірна спорідненість плагіогранітоїдів дніпропетровського, саксанського й сурського комплексів підтверджується валовим хімічним і мінеральним складом, вмістом і розподілом елементів-домішок та петрографічними особливостями. Деяка неоднорідність розподілу РЗЕ в них може пояснюватися складними процесами їхньої еволюції. Зазвичай плагіогранітоїди названих комплексів не мають чітких границь між собою, слабо розрізняються у геофізичних полях, внаслідок чого їх картування інколи ґрунтується на опосередкованих даних.

4. Генезис ТТГ асоціацій СПК, за аналогією з породами-аналогами добре вивчених архейських кратонів світу, передбачає утворення за рахунок первісної мафітової протокори без зв'язку з ендегенними процесами, які супроводжували магматизм у межах ЗКС. Проте, дане питання в межах регіону вивчене надто слабо, а тому потребує додаткових петролого-геохімічних досліджень.

5. За наявними літературними даними, формування плагіогранітоїдів відбувалось у віковому інтервалі 3,1-2,9 млрд р тому. В межах цього інтервалу можна виділити окремі періоди або фази гранітоутворення, але поки їх не вдається достовірно обмежити геологічними та віковими границями, хоча подекуди вони мають певну речовинну специфічність і територіальну приуроченість.

Питання ідентифікації, генезису та картування плагіогранітоїдів ТТГ асоціацій Середньопридніпровського кратону потребують більш повного та комплексного вивчення й обґрунтування як традиційними, так і преци-

зійними лабораторними методами, що відповідають сучасному рівню світової геологічної науки.

Список використаних джерел

1. Артеменко Г. В. Геохронологія Середньопридніпровської, Приазовської та Курської граніт-зеленокам'яних областей [Текст] : автореф. дис... д-ра геол. наук: 04.00.02 / Артеменко Геннадій Володимирович ; НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії і рудоутворення. – К., 1998. – 31 с.
2. Бобров О. Б. Геологія та радіологічний вік тоналітів Сурського масиву (Середнє Придніпров'я) [Текст] / О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, В. М. Скобелев // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2008. – № 3. – С. 17-32.
3. Геологические, петрологические и изотопно-геохимические ограничения геодинамических моделей образования архейских тоналит-трондьемит-гранодиоритовых ассоциаций древних кратонов [Текст] / А. Б. Вревский, С. Б. Лобач-Жученко, В. П. Чекулаев и др. // Геотектоника. – 2010. – № 4. – С. 1-19.
4. Геолого-структурна позиція та ізотопний вік плагіогранітоїдів району Верхівцівської зеленокам'яної структури [Текст] : (Середнє Придніпров'я) / О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, В. М. Скобелев, Т. І. Довбуш // Мінеральні ресурси України. – 2004. – № 3. – С. 18-23.
5. Геохронологія аульського гнейсового комплексу і проблема фундаменту зеленокам'яних поясов Українського щита / А. В. Самсонов, І. С. Пухтель, Д. З. Журавлев, І. В. Чернышев // Петрологія. – 1993. – Т. 1, № 1. – С. 29-49.
6. Геохронологія раннього докембрію Українського щита архей. / М. П. Щербак, Г. В. Артеменко, І. М. Лесная, А. Н. Пономаренко. Киев: Наукова думка, 2005. – 243 с.
7. Гранитоїди Українського щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность [Текст] : справочник / К. Е. Есипчук, В. И. Орса, И. Б. Щербаков и др. ; отв. ред. Н. П. Щербак ; АН Украины, Ин-т геохимии, минералогии и рудообразования. - К. : Наук. думка, 1993. - 232 с.
8. Жариков В. А. Гранитообразование по амфиболитам / В. А. Жариков, Л. И. Ходоревская // Петрология. – 2006. – № 4. – С. 319-336.
9. Захаров В. В. Геологическое строение, полезные ископаемые и геоекологическая обстановка Криворожского железорудного района : отчет о результатах ГДП 1:200 000 листов М-36-XXXIV, L-36-IV / В. В. Захаров, А. И. Гуляк, А. В. Мартинович. – К., 1998. – Книга 1.
10. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита : пояснювальна записка / К. Е. Есипчук, О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, М. П. Щербак. - Київ: УкрДГРІ, 2004. – 30 с.
11. Лобач-Жученко С. Б. Древние кратоны – возраст, строение, состав, геодинамика / С. Б. Лобач-Жученко // Мінералогический журнал. – 2014. – Т. 36, № 2. – С. 61-70.
12. Метатоналіти дніпропетровського комплексу та вікові етапи їх формування (геологічна позиція, склад, результати Shrimp радіології) [Текст] / О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, С. А. Сергеев, С. Л. Пресняков // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2008. – № 1. – С. 9-23.
13. Орса В. И. Гранито-образование в докембрии Среднеприднепровской гранит-зеленокамной области / В. И. Орса. – Киев: Наукова думка, 1988. – 202 с.
14. Орса В. И. Петрология гранито-гнейсового комплекса Середнього Придніпр'я / В. И. Орса. – Київ: Наукова думка, 1973. – 169 с.
15. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита / [Есипчук К. Е., Шермет Е. М., Зинченко О. В. и др.; Отв. ред. И. Б. Щербаков] ; АН УССР, Ин-т геохимии и физики минералов. - Киев : Наук. думка, 1990. - 234 с.
16. Степанюк Л. М. Час формування гранітоїдів саксанського комплексу / Л. М. Степанюк, О. Б. Бобров, В. В. Захаров // Мінеральні ресурси України. – 2010. – № 1. – С. 21-26.
17. Сукач В. В. Геолого-структурное положение, породный состав и рудоносность мезоархейских субвулканических плагіогранитоидов зеленокамных структур Среднего Приднепровья. / В. В. Сукач // Гранитоиды: условия формирования и рудоносность : Тезисы науч. конф. – Киев: ИГМР НАН Украины, 2013. – С. 128-130.
18. Щербак Н. П. Геохронологические рубежи формирования зеленокамных ассоциаций пород Среднеприднепровского, Карельского кратонов и зеленокамных поясов Воронежского массива Восточно-Европейской платформы / Н. П. Щербак, Г. В. Артеменко, А. Н. Пономаренко // Мінералогический журнал. – 2009. – Т. 31, № 2. – С. 3-19.
19. Щербаков І. Б. Петрологія Українського щита / І. Б. Щербаков. Львів: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
20. Frost B. R. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks / B. R. Frost, C. D. Frost // Journal of Petrology. – 2008. – V. 49. – P. 1955-1969.
21. Herzberg C. Thermal history of the earth and its petrological expression. / C. Herzberg, K. Condie, J. Korenaga // Earth and Planetary Science Letters. – 2010. – V. 292. – P. 79-88.
22. Martin H. The Archean grey gneisses and the genesis of the continental crust / H. Martin // The Archean Crustal Evolution. Developments in Precambrian Geology / K. C. Condie (Ed.). – Amsterdam: Elsevier, 1994. – P. 205-259.
23. Moya J. F. Forty years of TTG research / J. F. Moya, H. Martin // Lithos. – 2012. – V. 148. – P. 312-336.
24. Patino Douce A.E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas / A. E. Patino Douce // Understanding Granites. Integrating New and Classical Techniques : Special Publications / Castro A., Fernández C.

& Vigneresse J. L. (eds.). – London: Geological Society, 1999. – V. 168. – P. 55-75.

25. REE geochemistry and isotopic data of Archean silicic volcanics and granitoids from the Pilbara Block, western Australia: implications for the early crustal evolution. / B. M. Jahn, A. Y. Glikson, J. J. Peucat, A. H. Hickman // *Geochimica et Cosmochimica Acta* – 1981. – V. 45. – P. 1633-1652.

26. Rudnick R. L. Making continental crust / R. L. Rudnick // *Nature*. – 1995. – V. 378 – P. 571-578.

27. Taylor S. R. The continental crust: its composition and evolution / S. R. Taylor, S. M. McLennan. – Oxford: Blackwell, 1985. – 312 p.

28. The generation and evolution of the continental crust. / C. J. Hawkesworth, B. Dhuime, A. B. Pietranik et al. // *Journal of the Geological Society*. – 2010. – V. 167. – P. 229-248.

References

1. Artemenko, G.V. (1998). Geochronology of Middle Dnieper, Near Azovian and Kursk granite-greenstone areas. *Extended abstract of Doctor's thesis (Geochemistry)*. Vernadsky National Library of Ukraine, Kyiv. [in Ukrainian].

2. Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Skobelev, V.M. (2008). Geology and radiological age of tonalites of the Sursk massif (Middle Dnieper area). *Scientific proceedings of UkrSGRI*, 3, 17-32. [in Ukrainian].

3. Vrevsky, A.B., Lobach-Zhuchenko, S.B., Chekulaev, V.P., Kovalenko, A.V., Arestova, N.A. (2010). Geological, petrological and isotopic-geochemical restrictions on geodynamic models of formation of Archean tonalite-throndhemite-granodiorite associations of ancient cratons. *Geotectonics*, 4, 1-19. [in Russian].

4. Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Skobelev, V.M., Dovbush, T.I. (2004). Geological and structural position and isotopic age of plagiogranites in the area of Verhovtsevo greenstone structure (Middle Dnieper). *Mineral Resources of Ukraine*, 3, 18-23. [in Ukrainian].

5. Samsonov, A.V., Puhtel, I.S., Zhuravlev, D.Z., Chernyshev, I.V. (1993). Geochronology of Aula gneissic complex and problem of the basement of greenstone belts of the Ukrainian Shield. *Petrology*, 1, 1, 29-49. [in Russian].

6. Scherbak, M. P., Artemenko, G. V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, O.N. (2005). *Geochronology of early Precambrian of the Ukrainian Shield, Archean*. Kyiv: Naukova dumka, 243 p. [in Ukrainian].

7. Yesipchuk, K.Ye., Orsa, V.I., Scherbakov, I.B. et al. (1993). *Granitoids of the Ukrainian Shield. Petrochemistry, geochemistry, ore content*. Reference book. N.P. Scherbak (Ed.). Kyiv: Naukova dumka, 232 p. [in Russian].

8. Zharikov, V.A., Hodorevsky L.I. (2006). Granite formation after amphibolites. *Petrology*, 4, 319-336. [in Russian].

9. Zaharov, V.V., Guliak, A.I., Martynjuk, A.V. (1998). *Geological structure, useful minerals and geocological conditions of Krivoy Rog iron-ore area: Report on results of GDP 1:200000, Sheets M-36-XXXIV, L-36-IV*. (Vol. 1). Kyiv. [in Russian].

10. Yesipchuk, K.Ye., Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Scherbak, M.P. (2004). *Correlative chronostratigraphic scheme of early Precambrian of the Ukrainian Shield (explanatory note)*. Kyiv: UkrSGRI, 30 p. [in Ukrainian].

11. Lobach-Zhuchenko, S.B. (2014). Ancient cratons - age, structure, composition, geodynamics. *Mineralogical journal*, 36, 2, 61-70. [in Russian].

12. Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Sergeev, S.A., Presnyakov, S.L. (2008). Metatonalite of Dnepropetrovsk complex and age stages of their

formation (geological position, composition, results of Shrimp radiology). *Scientific proceedings of UkrSGRI*, 1, 9-23. [in Ukrainian].

13. Orsa, V.I. (1988). *Granite formation in Precambrian of Middle Dnieper granite-greenstone area*. Kyiv: Naukova dumka, 202 p. [in Russian].

14. Orsa, V.I. (1973). *Petrology of granite-gneiss complex of the Middle Dnieper*. Kyiv: Naukova dumka, 169 p. [in Ukrainian].

15. Yesipchuk, K.Ye., Sheremet, Ye.M., Zinchenko, O.V. et al. (1990). *Petrology, geochemistry and ore content of intrusive granitoids of Ukrainian Shield*. I.B. Scherbakov (Ed.). Kyiv: Naukova dumka, 234 p. [in Russian].

16. Stepanyuk, L.M., Bobrov, O.B., Zaharov, V.V. (2010). Age of formation of granitoids of Saksagan complex. *Mineral Resources of Ukraine*, 1, 21-26. [in Ukrainian].

17. Sukach, V.V. (2013). Geological and structural position, rock composition and ore content of Mesoarchean subvolcanic plagiogranites of greenstone structures of Middle Dnieper area. *Granitoids: conditions of formation and ore content. Abstracts of scientific conference*. Kyiv: IGMOF NAS of Ukraine, 128-130. [in Russian].

18. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Ponomarenko, A.N. (2009). Geochronological boundaries of formation of greenstone rock associations of Middle Dnieper, Karelian cratons and greenstone belts of Voronezh massif of East European platform. *Mineralogical journal*, 31, 2, 3-19. [in Russian].

19. Scherbakov, I.B. (2005). *Petrology of the Ukrainian Shield*. Lviv: ZUKC, 366 p. [in Russian].

20. Frost, B.R., Frost, C.D. (2008). A geochemical classification for felsic igneous rocks. *Journal of Petrology*, 49, 1955-1969.

21. Herzberg, C., Condie, K., Korenaga, J. (2010). Thermal history of the earth and its petrological expression. *Earth and Planetary Science Letters*, 292, 79-88.

22. Martin, H. (1994). The Archean grey gneisses and the genesis of the continental crust. *The Archean Crustal Evolution, Developments in Precambrian Geology*. K.C. Condie (Ed.). (pp. 205-259). Elsevier, Amsterdam.

23. Moya, J.F., Martin, H. (2012). Forty years of TTG research. *Lithos*, 148, 312-336.

24. Patino Douce, A.E. (1999). What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas. *Understanding Granites. Integrating New and Classical Techniques*. A. Castro, C. Fernández & J.L. Vigneresse (eds.) Special Publications; Geological Society. (Vol. 168, pp. 55-75). London.

25. Jahn, B.M., Glikson, A.Y., Peucat, J.J., Hickman, A.H. (1981). REE geochemistry and isotopic data of Archean silicic volcanics and granitoids from the Pilbara Block, western Australia: implications for the early crustal evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 1633-1652.

26. Rudnick, R.L. (1995). Making continental crust. *Nature*, 378, 571-578.

27. Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985). *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.

28. Hawkesworth, C.J., Dhuime, B., Pietranik, A.B., Cawood, P.A., Kemp, A.I.S., Storey, C.D. (2010). The generation and evolution of the continental crust. *Journal of the Geological Society*, 167, 229-248.

Надійшла до редколегії 15.01.16

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

E-mail: svital@ukr.net;

S. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.), Research Associate

E-mail: kurylo.sergiy@gmail.com

Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NAS of Ukraine

34, Acad. Palladina Ave., Kyiv – 142, 03680, Ukraine;

O. Grinchenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.

E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

TONALITE-THRONDEMITE-GRANODIORITE (TTG) ASSOCIATIONS OF THE MIDDLE DNEPER ARCHEAN CRATON

Plagiogranites comprise about 70% of whole area the Middle Dnieper craton (MDC) which is allocated within the megablock of the Ukrainian Shield (USH) of the same name. They form dome or swell-like structures situated between the set of greenstone belts (structures) of synclinal morphology. Some authors treat these plagiogranite as typical formations of tonalite-trondhemite-granodiorite (TTG) associations/series though such term did not receive wide usage among ukrainian researchers. The aim of this publication is the determination of amount and general features of TTG of associations in MDC and their comparative analysis with similar Archean formations of known cratons of the world.

On their composition, archaean plagiogranites of MDC are generally similar to TTG associations of the world. We relate plagiogranites of Dnepropetrovsk, Saksagan and Sura complexes to the TTG associations of Middle Dnieper area. Among the exceptions are hypabissal and volcanogenic rocks which comprise small massifs, subvolcanic bodies and dikes within of greenstone structures; differently migmatized supracrustal rocks of both basic and average to felsic compositions; microcline-rich varieties of plagiogranites; bifeldspar granitoids which commonly occur among plagiogranites with subtle and gradual transitions to them. Probable affinity between plagiogranites of Dnepropetrovsk, Saksagan and Sura complexes is proved by bulk chemical and mineral composition, patterns and distribution of admixture-elements and petrographic features. Possible affinity between plagiogranites of Dnepropetrovsk, Saksagan and Sura complexes is proved by total chemical and mineral composition, distribution patterns of admixture-elements and petrographic features.

By making review of published data available there is possibility to draw a conclusion, that plagiogranites are formed within the age interval of 3,1-2,9 bln years. Certain periods of activation are allocated which age limits are not still finally established. Though somewhere they show specific features of their composition and areal distribution.

The problem of identification and mapping of plagiogranite TTG associations of MDC requires their more comprehensive and complex substantiation with using both traditional and current precise analytical methods.

Keywords: Ukrainian Shield, Middle Dnieper megablock, plagiogranites, TTG association.

В. Сукач, канд. геол. наук, ст. науч. сотрудник

E-mail: svital@ukr.net;

С. Курило, канд. геол. наук, науч. сотрудник

E-mail: kurylo.sergiy@gmail.com

Институт геохимии, минералогии и рудообразования

Национальной Академии наук Украины

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

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

E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ТОНАЛИТ-ТРОНДЪЕМИТ-ГРАНОДИОРИТОВЫЕ (ТТГ) АССОЦИАЦИИ СРЕДНЕПРИДНЕПРОВСКОГО АРХЕЙСКОГО КРАТОНА

Плагиогранитоиды составляют около 70% общей площади Среднеприднепровского кратона (СПК), который выделяется в пределах одноименного мегаблока Украинского щита (УЩ). Они формируют куполовидные и валоподобные структуры, между которыми размещается целый ряд зеленокаменных поясов (структур) синклинарного строения. Некоторые авторы эти плагиогранитоиды относят к типичным образованиям тоналит-трондъемит-гранодиоритовой (ТТГ) ассоциации/серии, хотя такая терминология и не получила широкого применения среди отечественных исследователей. Целью данной публикации является установление объема и общих характеристик ТТГ ассоциаций СПК и их сравнительный анализ с подобными архейскими образованиями известных кратонов мира.

По вещественному составу архейские плагиогранитоиды СПК в общем подобны ТТГ ассоциациям мира. В состав ТТГ ассоциаций Среднего Приднпровья мы относим плагиогранитоиды днепропетровского, саксаганского и сурского комплексов, за исключением: пород гипабисального и вулканогенного облика, которые составляют небольшие массивы, субвулканические тела и дайки в пределах ЗКС; в разной мере мигматизированные супракрустальные породы как основного, так и среднего до кислого составов; микроклинизированные разновидности плагиогранитоидов; двуполевошпатовые гранитоиды, которые часто встречаются среди плагиогранитоидов и могут иметь нечеткие, постепенные переходы с ними. Вероятное родство плагиогранитоидов днепропетровского, саксаганского и сурского комплексов подтверждается валовым химическим и минеральным составом, содержанием и распределением элементов-примесей и петрографическими особенностями.

По результатам анализа имеющихся литературных данных можно сделать вывод, что формирование плагиогранитоидов происходило в возрастном интервале 3,1-2,9 млрд лет. Выделяются определенные периоды активизации, возрастные границы которых пока еще не удается окончательно установить. Хотя кое-где они имеют определенную вещественную специфичность и территориальную приуроченность.

Вопрос идентификации и картирования плагиогранитоидов ТТГ ассоциаций СПК нуждается в более полном и комплексном обобщении как традиционными, так и современными прецизионными аналитическими методами.

Ключевые слова: Украинский щит, Среднеприднепровский мегаблок, плагиогранитоиды, ТТГ ассоциация.

УДК. 551.1/4+550.4

С. Шнюков, д-р геол. наук, доц.,
E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua;В. Осипенко, асп.
E-mail: victoria.osipenko@gmail.comКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ПРОСКУРІВСЬКИЙ МАСИВ ЛУЖНИХ ПОРІД (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ): НОВИЙ ГЕОХІМІЧНИЙ БАНК ДАНИХ

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

У статті розглянуто сучасний стан геологічної та, зокрема, геохімічної вивченості Проксурівського масиву лужних порід (Дністровсько-Бузький мегаблок Українського щита). На сьогоднішній день його, разом з Чернігівським карбонатитовим та Антонівським масивами, Городницькою, Глумчанською та іншими інтрузіями, відносять до лужно-ультраосновної (карбонатитової) формації. При цьому, для Проксурівського масиву відмічається й ряд специфічних особливостей (у першу чергу, геохімічних). Однак, з'ясування та пояснення їхніх причин стримується недостатньою повнотою доступної геохімічної інформації, зокрема, щодо мікроелементів, що було частково вирішено в даній роботі. На основі отриманих нових результатів аналітичних досліджень сформовано новий банк геохімічних даних, який охоплює головні породні різновиди ($n = 304$), представлені в масиві, а також суттєво, якісно та кількісно, доповнює існуючі на сьогоднішній день дані. На нинішньому етапі роботи було розв'язано такі задачі: (1) узагальнення існуючої інформації, у тому числі й геохімічної, про масив; (2) отримання нових аналітичних даних, які суттєво доповнювали б уже існуючі; (3) інтеграція отриманих результатів у єдиний банк даних; (4) оцінка його якості. Поточний контроль якості одержаних аналітичних даних, які характеризують значно ширший діапазон породних різновидів, з використанням серії стандартних зразків продемонстрував їх кондиційність та придатність для подальшої інтерпретації.

Ключові слова: Проксурівський масив, банк геохімічних даних.

Вступ. Проксурівський масив (ПМ) лужних порід на теперішній час віднесений [1, 3, 7, 9-11, 17, 20] до лужно-ультраосновної (карбонатитової) формації, хоча власне карбонатити в його складі досі не виявлені. Встановлено [10] часткову схожість ПМ з добре відомим Чернігівським карбонатитовим масивом (ЧКМ) лінійного структурно-морфологічного типу – досить типовим представником зазначеної формації у межах Українського щита (УЩ). Так, незважаючи на морфологічну відмінність (рис. 1б, в), масиви багато в чому подібні за набором порід (лужні та нефелінові сієніти, ійоліт-мельтейгіти, якупірангіти), їхніх мінералів (калієвий польовий шпат, альбіт, нефелін, біотит, егіринвімісний піроксен, амфібол, іноді кальцит; акцесорні – сфен, апатит, ільменіт тощо) та наявністю широких ореолів фенітизації. Однак, згідно з існуючими нечисленими геохімічними даними [3, 10], породи ПМ відрізняються від порід ЧКМ та інших типових масивів лужно-ультраосновної формації низькими концентраціями Ti, Cr, Ni, Co, Nb (23-35 ppm), Zr (25-95 ppm) і LREE (85-219 ppm), що, загалом, є характерним і для інших подібних масивів УЩ – Антонівського, Городницької, Глумчанської, Губківської та Болярської інтрузій [4], встановлених у межах його геоблоків (Дністровсько-Бузького та Волинського відповідно). Причини такої відмінності, яка передбачає й різну оцінку рудоносності, на сьогодні остаточно не встановлені. Припускається, що вона зумовлена: (1) специфікою елементного та (або) мінерального складу верхньомантийної області генерації відповідних розплавів [11]; (2) різними геодинамічними умовами формування [7]. Така ситуація, разом з фрагментарною дослідженістю ПМ, породжує цілу низку **проблем** – від невизначеності співвідношення метасоматичних та магматичних процесів у формуванні масиву до надійності встановлення джерела його речовини. Вирішення цих проблем багато в чому стримується недостатністю існуючих геохімічних даних, тому створення нового та максимально репрезентативного їх банку є **метою** цієї роботи. Її досягнення передбачало розв'язання таких **задач**: (1) збір та узагальнення існуючої інформації (перш за все, геохімічної); (2) одержання нових аналітичних даних, які суттєво доповнювали б уже існуючі; (3) створення єдиного банку даних; (4) оцінка його якості та придатності для подальшого використання.

Історія дослідження. Проксурівський масив лужних порід був відкритий у межах Дністровсько-Бузького мегаблоку (УЩ) (рис. 1а) у 1978 р. І.Д. Царовським та

П.Ф. Брацлавським [20]. Загалом, усю історію дослідження масиву можна умовно розділити на два основні етапи: з моменту відкриття до 1990-х рр. та з 2000-х рр. по теперішній час.

На першому етапі в публікаціях [20] було описано геологічну позицію та петрографічний склад порід, виконано аналізи хімічного складу останніх, проведено деякі ізотопні дослідження [21]. Пізніше (1980-ті рр.) С.Г. Кривдіком зі співавторами [9, 11] було проведено ревізію наявного матеріалу та написано ряд робіт, присвячених вивченню мінерального та хімічного складу порід, а також співставленню особливостей досліджуваного масиву з раніше відкритими й добре вивченими [7, 12]. Потому (1990 р.) С.Г. Кривдіком і В.І. Ткачуком було узагальнено існуючу на той час інформацію щодо всіх відомих лужних масивів УЩ, у тому числі, й ПМ, та опубліковано у вигляді монографії [10].

На другому етапі, переважно останні 10 років, більш детально вивчаються геохімічні особливості [1, 15, 17], з'явилися нові ізотопно-геохімічні дані [7, 15], на основі яких було зроблено певні висновки щодо джерел речовини та зв'язку геохімічних особливостей масиву з геодинамічними умовами його формування [15, 19], за допомогою газохроматографічного аналізу досліджено леткі компоненти (зокрема, вуглеводневі) лужних порід Проксурівського масиву [20]. На сьогоднішній день дослідженням лужних порід Проксурівського масиву займаються С.Г. Кривдік, О.В. Дубина, А.М. Калиниченко, О.М. Донской, В.М. Загнітко, А.А. Кульчицька, О.М. Пономаренко та інші [1, 7, 19].

Геологічна позиція та склад порід. Проксурівський масив розташований на південно-західному схилі УЩ у межах Подільського мегаблоку. Породи не виходять на денну поверхню, а розкриті свердловинами. Тектонічно масив приурочений до перетину Подільської розломної зони із Зінківським розломом північно-східного простягання. Вважається, що геодинамічними умовами формування масиву є зони стиснення [7]. Відомості про форму та розміри масиву ґрунтуються на результатах буріння, а також на даних інтерпретації магнітної та гравіметричної зйомок, які трактуються не завжди однозначно, тому геологічну карту масиву, як у первинному (рис. 1б), так і в пізніших варіантах інтерпретації (рис. 1в), слід вважати схематичною.

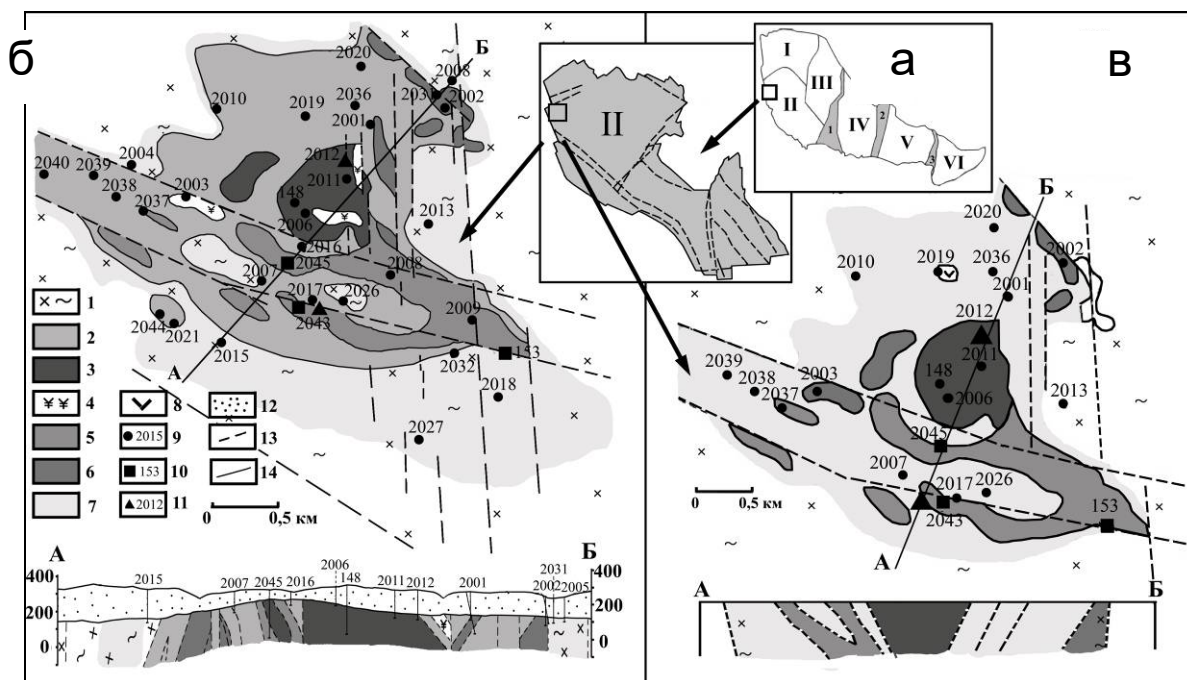


Рис. 1. Геологічна позиція та схематична будова Проскурівського масиву (ПМ):

а – положення масиву на схемі УЩ [2] (мегаблоки: I – Волинський; II – Дністровсько-Бузький; III – Росинсько-Тікицький; IV – Ігульський; V – Середньопридніпровський; VI – Приазовський; шовні зони: 1 – Голованівська, 2 – Ігулецько-Криворізька, 3 – Оріхово-Павлоградська); б, в – геологічна будова Проскурівського масиву та геологічний розріз по лінії А-Б за [20] та [10] (з доповненнями [3]) відповідно. Умовні позначення: 1 – вміщуючі породи, 2 – лужні сієніти з підпорядкованою кількістю кварцових сієнітів, гранітів та рідкісними тілами нефелінових сієнітів, йолітів, шонкінітів, 3 – перешарування лужних сієнітів та йолітів, 4 – піроксеніти нефелінізовані, 5 – нефелінові сієніти з підпорядкованими тілами лужних сієнітів, 6 – йоліти та йоліт-малініти, 7 – феніти та фенітизовані породи рами, 8 – есексیتی безнефелінові та нефеліновмісні (тільки на рис. 1в), 9-11 – бурові свердловини (серед них геохімічно досліджені: 10 – авторами цієї роботи; 11 – авторами робіт [3, 13]), 12 – розломи, 13 – геологічні межі

За даними буріння (рис. 1б), масив складений лужними сієнітами з: підпорядкованою кількістю кварцових сієнітів, гранітів та рідкісними тілами нефелінових сієнітів, йолітів, шонкінітів, які іноді перешаровуються; нефелінізованими піроксенітами; нефеліновими сієнітами; йолітами та йоліт-малінітами. Массив оточений ореолом фенітизації по вміщуючих породах (бердичівських гранітоїдах та біотит-плагіоклазових кристалосланцях [12]). Вік нефелінових порід Проскурівського масиву визначався за породотвірними мінералами (нефелін, польові шпати й біотит) і склав у середньому 1243 млн р (K-Ar метод) [20] та за цирконом із нефелінового сієніту (2100 ± 40 млн р, прямий термоемісійний метод) [10]. Нефелінові породи інтерпретувалися [20] як результат фенітизації гранітоїдів і твейтозитизації лужноземельних піроксенітів. Пізніше (1980-ті рр.) було висловлено [9, 11] точку зору про інтрузивно-магматичну природу нефелінових порід та, відповідно, дещо іншим чином (рис. 1в) інтерпретовано породи масиву (особливо це стосується фенітового ореолу). Автори віднесли масив до лужно-ультраосновної (карбонатитової) формації. За геохімічними особливостями масив суттєво відрізняється від типового представника лужно-ультраосновної (карбонатитової) формації – ЧКМ, що пов'язують [7] з різними геодинамічними умовами їхнього формування.

Вимоги до вихідних даних та методика досліджень. Загальний геохімічний банк даних для порід ПМ сформовано з уже існуючих, взятих з літературних джерел [1, 3, 9-11, 13, 14, 20], а також із нових, отриманих у НДП "Мінералого-геохімічних досліджень" Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Основними вимогами до якості даних вважалися сформовані в попередніх подібних роботах [16]: геологічна обґрунтованість точок відбору проб, репрезентатив-

ність останніх, їх достатня петрографічна вивченість; визначення в пробах усіх петрогенних та максимально широкого переліку мікроелементів; використання сучасних прецизійних аналітичних методів. Обрані літературні та нові дані цілком відповідають зазначеним критеріям.

Методика досліджень включала: 1) збір, обробку та узагальнення наявної на сьогодні інформації щодо масиву; 2) аналітичні дослідження (хімічний та рентгено-флуоресцентний аналізи) з кількісним визначенням складу порід масиву; 3) математичну (статистичну) обробку [6, 8, 21, 22] та інтерпретацію отриманих результатів і співставлення їх з існуючими.

Одержані результати та їх обговорення. Дані з літературних джерел отримані, головним чином, у хімічній лабораторії ІГФМ ім. М.П. Семененка НАН України у період 80-90-х рр. XX ст. [9-11, 20]. Перші з них були опубліковані в 1980 р. у роботі І.Д. Царовського та П.Ф. Брацлавського [20]. Пізніше (1987, 1990 рр.) опубліковано результати аналітичних досліджень порід ПМ у роботах С.Г. Кривдіка зі співавторами [10-12]. Дані цього періоду охоплюють досить широкий діапазон породних різновидів, однак представлені результатами вимірювань концентрацій лише макрокомпонентного складу (рис. 2а). Натомість дані 2000-х рр. [3, 13] є повнішими за комплектацією і характеризують як макро-, так і мікрокомпонентний, включаючи REE, склад (рис. 2б). Вони отримані за допомогою методу ICP MS в аналітичному центрі Acme Analytical Laboratories LTD (Канада).

Загалом зразки ($N = 151$), проаналізовані в літературних джерелах, охоплюють усі породні різновиди масиву від ультраосновних порід йоліт-мельтейгітового ряду, якупірангітів до нефелінових та лужних сієнітів. Однак літературні дані, які за комплектацією відповідають нашим, характеризують більш обмежений спектр породних різновидів і тому потребують суттєвого доповнення.

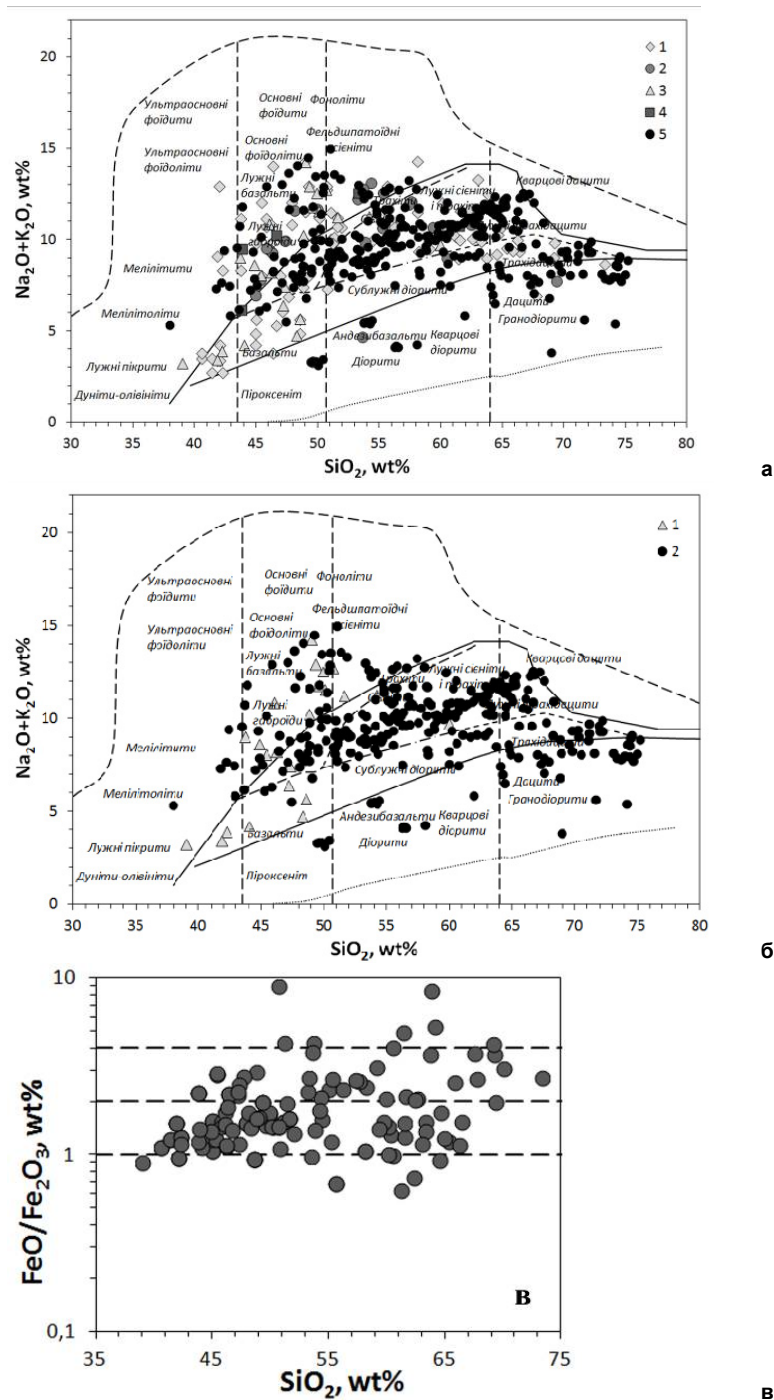


Рис. 2. Геохімічна вивченість порід ПМ:

а – внесок авторів (5) порівняно з даними попередніх (1-4) дослідників (1 – [9-11, 13]; 2 – [14]; 3 – [3, 9]; 4 – [20]);
 б – наші дані (2) порівняно з даними попередніх дослідників (1 – [3, 9]), які співпадають за набором елементів;
 в – співвідношення $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ у породах ПМ за даними [1, 3, 9-11, 13, 14, 20]

Дані авторів отримані при дослідженні створеної оригінальної колекції із 304 зразків по 4 найбільш репрезентативних свердловинах та суттєво доповнюють літературні кількісно та якісно. Аналітичні дослідження виконано за допомогою сучасного кількісного рентгенофлуоресцентного аналізу (аналітики О.В. Андреев, В.В. Загородній, А.М. Омельченко). Визначено концентрації таких елементів (табл. 1): SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{total}}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S, Cl, CO_2 , F, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Pb, Th, U, Ba, LREE (La, Ce, Pr, Nd). Декларовані межі визначення: Cu, Zn, U, Ba, LREE – 15 ppm; Ga – 10 ppm; As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Pb, Th – 5 ppm; Ni – 20 ppm; Fe – 200 ppm;

P_2O_5 – 0,00п мас.%; інші петрогенні елементи – 0,01-0,1 мас.%. Вибір форми представлення заліза проводився на основі літературних джерел, за даними яких переважає форма FeO (рис. 2в).

З метою контролю якості [8] отриманих даних паралельно із серією проб вимірювалися концентрації петрогенних та мікроелементів у комплекті стандартних зразків, що забезпечило контроль випадкової та систематичної похибок. Результати метрологічного контролю наведено на рис. 3, з якого видно, що загалом аналіз дає правильні дані [21], а похибка вимірювання знаходиться в допустимих методикою межах.

Таблиця 1

Деякі репрезентативні композиції породних різновидів ПМ у форматі створеного банку даних

Деякі репрезентативні композиції породних різновидів тїм у форматі створеного банку даних						
Компонент, елемент	Вміщуючі породи (граніти й мігматити бердичівського комплексу)		Лужні сієніти*	Нефелінові сієніти*	Нефелінові сієніти	Йїоліти*
Петрогенні компоненти, wt%						
SiO ₂	63,78	69,56	42,87	48,76	48,81	43,41
TiO ₂	0,82	0,33	1,36	1,5	0,6	0,91
Al ₂ O ₃	17,4	11,46	9,7	13,25	23,29	15,98
FeO ^{total}	5,6	3,46	18,27	13,97	5,95	11,63
MnO	0,06	0,04	0,21	0,13	0,08	0,12
MgO	2,5	2	4,74	4,62	1,6	4,05
CaO	2,27	1,85	10,76	5,16	3,15	8,77
Na ₂ O	3,53	5,16	4,14	4,67	10,4	7,24
K ₂ O	3,1	3,48	1,73	3,93	3,64	2,33
P ₂ O ₅	0,04	0,11	1,09	1,44	0,67	0,98
S	–	0,05	0,65	0,24	0,01	0,15
Cl	–	0,02	0,05	0,02	–	0,02
CO ₂	0,08	–	–	–	–	–
H ₂ O	0,19	0,18	0,69	0,44	–	0,36
B.п.п.	0,98	1,22	3,03	1,67	0,6	2,95
Сума	100,32	98,91	97,45	98,39	98,91	97,73
Мікроелементи, ppm						
Ni	≤150	≤150	≤150	≤150	3,6	≤150
Cu	88	35	139	17	97,3	≤15
Zn	68	60	108	90	23	57
Ga	–	19	≤10	≤10	14,5	≤10
As	–	≤5	6	≤5	<0,5	5
Rb	78	111	28	100	34,1	30
Sr	358	255	1400	1195	1874,6	1502
Y	26	10	33	17	8,5	9
Zr	188	99	152	186	25,7	72
Nb	10	11	64	76	35,9	12
Pb	17	27	6	≤5	0,7	≤5
Th	–	13	15	7	0,3	≤5
U	–	≤15	≤15	≤15	<0,1	≤15
Ba	545	684	414	1040	1446,3	753
Sn	–	–	–	–	4	–
La	–	31	183	70	38,9	30
Ce	–	55	350	145	103,3	85
Pr	–	≤15	13	≤15	12,65	≤15
Nd	–	19	108	59	48,9	34
Sm	–	–	–	–	6,3	–
Eu	–	–	–	–	1,69	–
Gd	–	–	–	–	3,35	–
TR	–	–	–	–	219	–
V	71	–	–	–	34	–
Cr	65	–	–	–	–	–
Co	11	–	–	–	13,9	–
Li	12	–	–	–	–	–
Hg	–	–	–	–	1,29	–
№ проби	–	153/136,2	2045/179,9	2045/242,2	3739/2043	2045/157,8
Джерело	[2]	н.д.	н.д.	н.д.	[14]	н.д.

Примітка: н.д. – наші дані; FeO^{total} – сумарне Fe у формі FeO; прочерк – дані відсутні; * – маємо на увазі метасоматичні (на думку авторів) породи, які за складом відповідають лужним, нефеліновим сієнітам та йолітам. За даними [14] також доступні значення концентрацій для таких елементів, які наведено окремо через обмежений обсяг статті: Sc, Be, Cs, Hf, Ta, W, Se, Mo, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu ≤1; Dy = 1,77; Cd, Bi, Sb, Ag, Au, Tl ≤0,1

З урахуванням даних визначення випадкової та систематичної похибок було розраховано межу визначення мікроелементів у породах. Визначення за обома похибками мають співпадати, однак це спостерігається не в усіх випадках, що проілюстровано на рис. 4 та 5. Такі неспівпадіння можна пояснити невеликою (хоча й достатньою безпосередньо для контролю якості аналізу) кількістю проаналізованих стандартних зразків. Оскільки

ки набагато гірші значення було отримано з рівняння систематичної похибки, було використано результати, отримані з рівняння коефіцієнту варіацій (випадкової похибки). При порівнянні розрахованої межі визначення з декларованою було встановлено, що вони співпадають. Тобто можна зробити висновок, що методика дає правильні результати і значення концентрацій визначених елементів можна вважати достовірними.

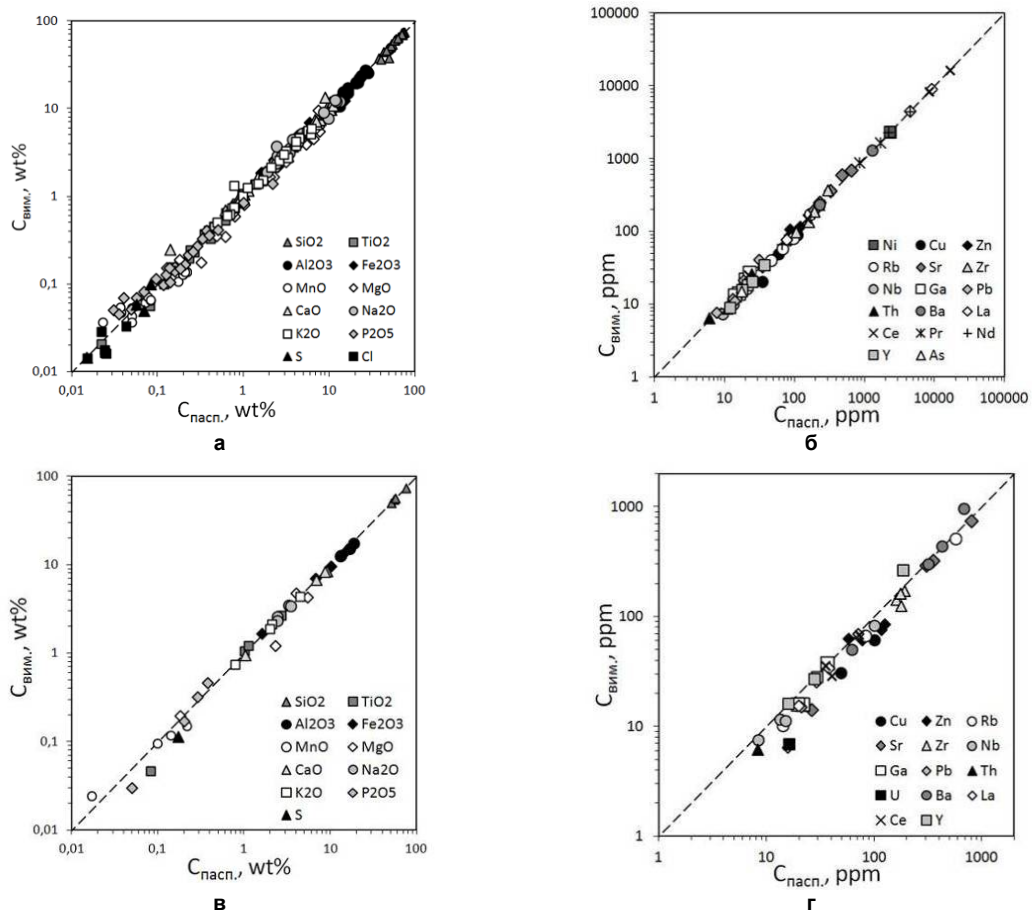


Рис. 3. Зіставлення результатів вимірювання концентрацій елементів у контрольних стандартних зразках (СЗ) з їх паспортними значеннями:

а, в – головні компоненти, б, г – мікроелементів; а, б – внутрішній контроль, в, г – зовнішній контроль

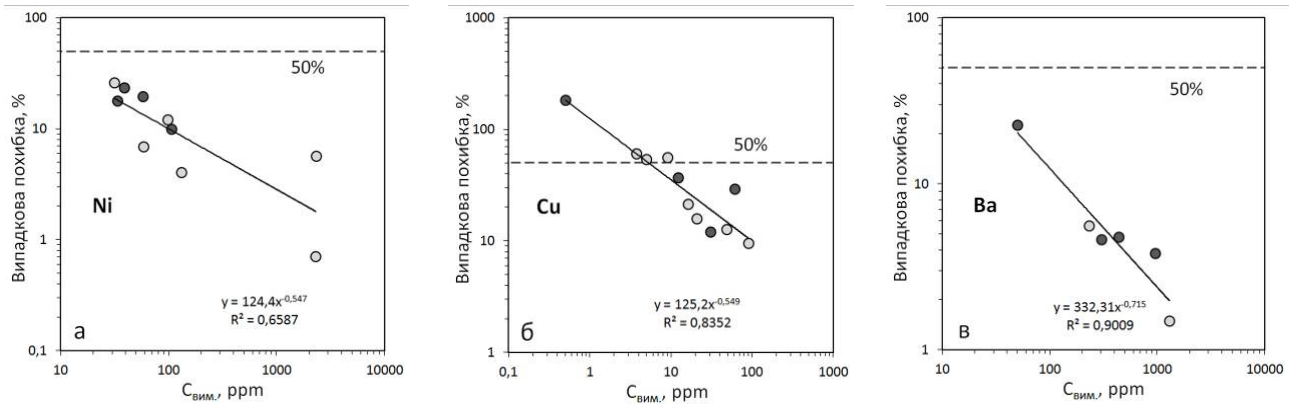


Рис. 4. Розрахунок меж визначення елементів за випадковою похибкою для внутрішнього та зовнішнього контролю

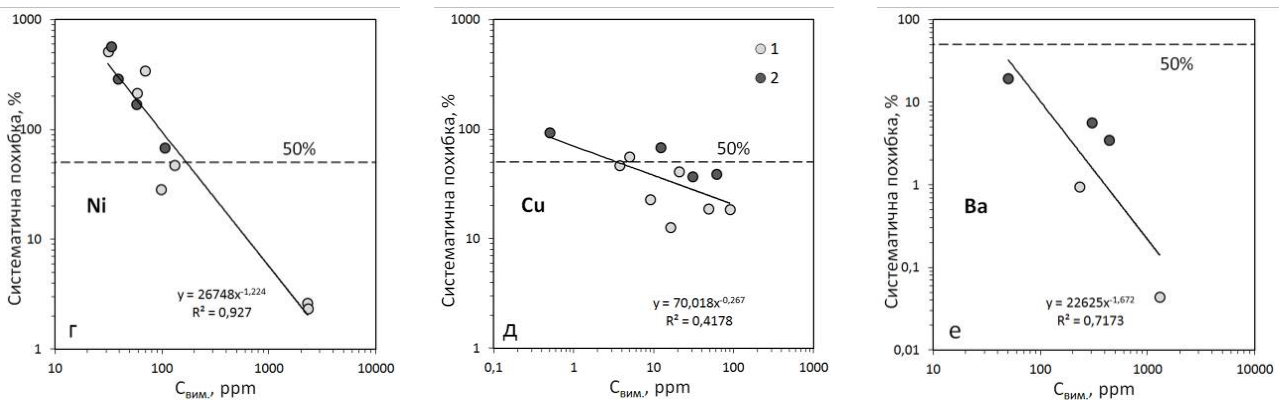


Рис. 5. Розрахунок меж визначення елементів за систематичною похибкою

Висновки. Отримані нові дані: (1) максимально охоплюють породні різновиди масиву; (2) комплексні за набором елементів з найбільш достовірними даними інших дослідників [1, 11]; (3) значно доповнюють їх як у якісному, так і в кількісному відношенні; (4) можуть бути інтегровані в єдиний геохімічний банк даних, репрезентативний для ПМ та придатний для розв'язання задач наступних етапів дослідження.

Список використаних джерел

1. Геохимия и рудоносность щелочных пород Украинского и Алданского щитов [Электронный ресурс] / А. Н. Пономаренко, Н. В. Владыкин, С. Г. Кривдик, А. В. Дубина // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма: Тезисы междунар. конф., 2011. – Режим доступа: http://alkaline.web.ru/2011/Abstracts/Ponomarenko_rus.htm
2. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей / Н. П. Щербак, Г. В. Артеменко, И. М. Лесная, А. Н. Пономаренко. – К.: Наукова думка. – 2005. – 244 с.
3. Донской А. Н. Металлогения нефелиновых серий юго-западной части Восточноевропейской платформы / А. Н. Донской, Н. А. Донской // Геохимия та рудоутворення. – № 29. – 2011. – С. 30-43.
4. Дубина О. В. Геохимия лужных пород Украинского щита: Автореф. дис.... докт. геол. наук: спец. 04.00.02 – "геохимия" / ИГМР НАН України // О. В. Дубина. – Київ, 2015. – 42 с.
5. Есипчук К. Е. Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность. Справочник / К. Е. Есипчук, В. И. Орса, И. В. Щербак. – К.: Наукова думка, 1993. – 232 с.
6. Еще раз о пределах обнаружения и определения / Л. П. Эсперандова, К. Н. Беликов, С. В. Химченко, Т. А. Бланк // Журнал аналитической химии. – Т. 65. – № 3. – 2010. – С. 229-234.
7. Загнитко В. Н. Изотопно-геохимические доказательства участия корового материала в образовании некоторых пород щелочно-ультраосновной формации Украинского щита [Электронный ресурс] / В. Н. Загнитко, С. Г. Кривдик, А. В. Дубина // Геохимия магматических пород: Тезисы Всерос. семинара школы "Щелочной магматизм Земли-2006". – 2006. – Режим доступа: <http://geo.web.ru/conf/alkaline/2006/index12.html>.
8. Инструкция по внутреннему, внешнему и арбитражному геологическому контролю качества анализов разведочных проб твердых негорючих полезных ископаемых, выполняемых в лабораториях Министерства геологии СССР. – ВИСМ. – М., 1982.
9. Кривдик С. Г. Зависимость геохимических и минералогических особенностей щелочно-ультраосновных комплексов Украинского щита от глубины их эрозийного среза [Электронный ресурс] / С. Г. Кривдик, А. В. Дубина // Геохимия щелочных пород: семинар школы "Щелочной магматизм Земли-2008". – 2008. – Режим доступа: http://alkaline2008.narod.ru/abs/Kryvdik_2.htm
10. Кривдик С. Г. Нефелиновые породы Проксуровского массива (Приднестровье) и их формационная принадлежность / С. Г. Кривдик, П. Ф. Брацлавский // Геол. журнал. – Т. 47. – № 1. – 1987. – С. 105-116.
11. Кривдик С. Г. Петрология щелочных пород Украинского щита / С. Г. Кривдик, В. И. Ткачук. – К.: Наука, 1990. – 406 с.
12. Кривдик С. Г. Фениты Проксуровского массива (Приднестровье) / С. Г. Кривдик, П. Ф. Брацлавский // Геол. журнал. – Т. 47. – № 2. – 1987. – С. 111-124.
13. Кривдик С. Г. Химический состав амфиболов из щелочных пород Проксуровского массива (Приднестровье) как индикатор условий их кристаллизации / С. Г. Кривдик // Минерал. Журнал. – Т. 8. – № 3. – 1986. – С. 74-79.
14. Кривдик С. Г. Геохімічні особливості лужних порід Дністровсько-Бузького району Українського щита / С. Г. Кривдик, О. В. Дубина // Мінерал. журнал. – Т. 28. – № 4. – 2006. – С. 32-42.
15. Кривдик С. Г. Рудоносність на рідкісні метали протерозойських магматичних комплексів Українського щита / С. Г. Кривдик, О. В. Дубина // Геол. журнал. – № 4. – 2012. – С. 44-56.
16. Кривдик С. Г. Лужний магматизм Українського щита: геохімічні та петрогенетичні аспекти / С. Г. Кривдик // Мінерал. журн. – Т. 22. – № 2/3. – 2000. – С. 48-56.
17. Модель формирования вулканических и вулканогенно-осадочных образований острова Десепшен (Западная Антарктида): исходные данные для моделирования / С. Е. Шнюков, И. И. Лазарева, Е. А. Хлонь [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – № 1. – 2013. – С. 44-65.
18. Тектонічна карта фундаменту Українського щита (на основі структурних поверхів) масштабу 1:2000000 / Кирилюк В. П. – 2003.
19. Углеродороды и другие летучие компоненты в щелочных породах Украинского щита и Кольского полуострова / С. Г. Кривдик, В. А. Нивин, А. А. Кульчицкая [и др.] // Геохимия. – № 3. – 2007. – С. 307-332.
20. Царовский И. Д. Нефелиновые породы Днестровско-Бузького района (геология, возраст и вещественный состав) / И. Д. Царовский, П. Ф. Брацлавский. – К., 1980. – 46 с.
21. Чарыков А. К. Математическая обработка результатов химического анализа: Учеб. пособие для вузов / А. К. Чарыков. – Л.: Химия, 1984. – 168 с.
22. Lontsikh S. V. The metrology of spectral analysis of disperse substances and materials / S. V. Lontsikh. – Spectrochimica Acta. – Vol. 36. – № 12. – 1981. – P. 1177-1184.

References

1. Ponomarenko, A.N., Vladyskin, N.V., Kryvdik, S.G., Dubyna, A.V. (2011). Geochemistry and ore-bearing of Ukrainian and Aldan Shield alkaline rocks. *Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism: Abstracts of International conference*, 2011. Retrieved from http://alkaline.web.ru/2011/Abstracts/Ponomarenko_rus.htm. [In Russian].
2. Shcherbakov, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, A.N. (2005). *Geochronology of Ukrainian Shield early Precambrian*. Archean. Kyiv: Science Thought, 244 p. [In Russian].
3. Donskoy, A.N., Donskoy, N.A. (2011). Nepheline rocks metallogeny of the south-western of East European platform. *Geochemistry and ore formation*, 29, 30-43. [In Russian].
4. Dubyna, O.V. (2015). Geochemistry of Ukrainian Shield alkaline rocks. *Extended abstract of Doctor's thesis (Geochemistry)*. Vernadsky National Library of Ukraine, Kyiv, 42 p. [In Ukrainian].
5. Yesypchuk, K.Ye., Orsa, I.V., Shcherbakov, I.B. (1993). *Granitoids of the Ukrainian shield. Petrochemistry, geochemistry, ore-bearing*. Directory. Kyiv: Science Thought, 232 p. [In Russian].
6. Esperiandova, L.P., Belikov, K.N., Khimchenko, S.V., Blank, T.A. (2010). Once more about detection and finding limits. *Analytical chemistry journal*, 65, 3, 229-234. [In Russian].
7. Zagnitko, V.N., Kryvdik, S.G., Dubyna, A.V. (2006). Izotopno-geokhimicheskie dokazatelstva uchastia korovogo materiala v obrazovanii nekotorykh porod shchelochno-ultraosnovnoy formacii Ukrainского щита. *Workshop on Geochemistry of magmatic rocks*. Retrieved only from web: <http://geo.web.ru/conf/alkaline/2006/index12.html>. [In Russian].
8. Instruction on inner, outer and arbitral geological control of analysis quality for solid incombustible mineral resources exploratory samples, executed in laboratories of USSR Geological Ministry, (1982). *Moscow*. [In Russian].
9. Kryvdik, S.G., Dubyna, A.V. (2008). The relation between geochemical and mineralogical features of Ukrainian Shield alkaline-ultrabasic complexes and their erosion level. *Workshop on Geochemistry of alkaline rocks*. Retrieved only from web: http://alkaline2008.narod.ru/abs/Kryvdik_2.htm. [In Russian].
10. Kryvdik, S.G., Bratslavskiy, P.F. (1987). Proskurov massif nepheline rocks (Transnistria) and their formational affiliation. *Geological journal*, 47, 1, 105-116. [In Russian].
11. Kryvdik, S.G., Tkachuk, V.I., (1990). *Petrology of Ukrainian Shield nepheline rocks*. Kyiv: Nauka, 406 p. [In Russian].
12. Kryvdik, S.G., Bratslavskiy, P.F. (1987). Fenites of Proskurov massif (Transnistria). *Geological journal*, 47, 2, 111-124. [In Russian].
13. Kryvdik, S.G. (1986). Chemical composition of amphiboles from Proskurov massif alkaline rocks (Transnistria) as condition indicator of their crystallization. *Mineral. journal*, 8, 3, 74-79. [In Ukrainian].
14. Kryvdik, S.G., Dubyna, O.V. (2006). Alkaline rocks geochemical features of Dniester-Bug of Ukrainian Shield. *Mineralogical journal*, 28, 4, 32-42. [In Russian].
15. Kryvdik, S.G., Dubyna, O.V. (2012). Ore-bearing for rare metals of Ukrainian Shield Proterozoic magmatic complexes. *Geological journal*, 4, 44-56. [In Russian].
16. Kryvdik, S.G. (2000). Alkaline magmatism of Ukrainian Shield: geochemical and petrogenetical aspects. *Mineral. journal*, 22, 2/3, 48-56. [In Ukrainian].
17. Shnyukov S.E., Lazareva I.I., Khlon E.A., Mytrokhyn A.V., Morozenko V.R., Marchenkov D.F., Nykanorova Yu.E. et al. (2013). Volcanic and volcano-sedimentary structures formation model of Deception island (Western Antarctica): initial data for modeling. *Geology and mineral resources of World Ocean*, 1, 44-65. [In Russian].
18. Kyrylyuk, V.P. (2003). Tectonic map of Ukrainian Shield substructure (based on structural floors), scale 1:2000000. [In Ukrainian].
19. Kryvdik, S.G., Nivin, V.A., Kulchytskaya, A.A., Voznyak, D.K., Kalinichenko, A.A., Zagnitko, V.N., Dubyna, A.V. (2007). Hydrocarbonates and other volatile components in alkaline rocks of Ukrainian Shield and Kola Peninsula. *Geochemistry*, 3, 307-332. [In Russian].
20. Tsarovskiy, I.D., Bratslavskiy, P.F. (1980). *Dniester-Bug region nepheline rocks (geology, age and material composition)*. Kyiv, 46 p. [In Russian].
21. Charykov, A.K. (1984). *Mathematical treatment of chemical analysis results: Tutorial for High School*. Leningrad, Khimiya, 168 p. [In Russian].
22. Lontsikh, S.V. (1981). The metrology of spectral analysis of disperse substances and materials. *Spectrochimica Acta*, 36, 12, 1177-1184.

Надійшла до редколегії 27.01.16

S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

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

V. Osypenko, Postgraduate Student

E-mail: victoria.osipenko@gmail.com

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

THE PROSKUROV MASSIF OF ALKALINE ROCKS (UKRAINIAN SHIELD): NEW GEOCHEMICAL DATABASE

The current state of geological and geochemical information completeness on the alkaline rocks Proskurov massif (Dniester-Bug Region of Ukrainian Shield) has been reviewed in the article. Nowadays it classified as alkaline-altrabasic (carbonatite) formation together with Chernigovka carbonatite and Antonovsky massifs, Gorodnytska, Glumchanska and others intrusions. At the same time specific features (first of all geochemical) are noticed for Proskurov massif. However the ascertainment and explanation of their reasons are constrain by the lack of available geochemical information completeness, especially for trace elements. Based on new results of analytical investigations the new geochemical database has been formed. It includes main rock types ($n = 304$), represented in massif, and both qualitatively and quantitatively supplements data available for today. At this stage following problems were solved: (1) the generalization of existing information about massif, including geochemical; (2) new analytical data to supplement available ones was received; (3) the integration of obtained results into general database; (4) quality evaluation. Current control of the analytical data, that characterize considerably wider range of rock types, shows their applicability for following interpretation.

Keywords: Proskurov massif, geochemical database

С. Шнюков, д-р геол. наук, доц.

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

В. Осипенко, асп.

E-mail: victoria.osipenko@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ПРОСКУРОВСКИЙ МАССИВ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД (УКРАИНСКИЙ ШИТ): НОВЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАНК ДАННЫХ

В статье рассмотрено современное состояние геологической и, в частности, геохимической изученности Проксуровского массива щелочных пород (Днестровско-Бугский мегаблок Украинского щита). На сегодняшний день его, наряду с Черниговским карбонатитовым и Антоновским массивами, Городницкой, Глумчанской и другими интрузиями, относят к щелочно-ультраосновной (карбонатитовой) формации. При этом, для Проксуровского массива отмечается ряд специфических особенностей (в первую очередь, геохимических). Однако, выяснение и объяснение их причин сдерживается недостаточной полнотой доступной геохимической информации, в частности, по микроэлементам, что было частично решено в рамках данной статьи. На основе вновь полученных результатов аналитических исследований сформирован новый банк геохимических данных, который охватывает главные породные разновидности ($n = 304$), представленные в массиве, а также значительно качественно и количественно дополняет существующие на сегодняшний день данные. На нынешнем этапе работы решались следующие задачи: (1) обобщение существующей информации, в том числе, и геохимической, о массиве; (2) получение новых аналитических данных, которые значительно дополняли бы уже существующие; (3) интеграция полученных результатов в единый банк данных; (4) оценка его качества. Текущий контроль полученных аналитических данных, которые характеризуют значительно более широкий диапазон породных разновидностей, с использованием серии стандартных образцов продемонстрировал их кондиционность и пригодность для дальнейшей интерпретации.

Ключевые слова: Проксуровский массив, банк геохимических данных

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.834.048

Г. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.
prodgeo@ukr.net;П. Кузьменко, канд. геол. наук, доц.
pavlokn@ukr.net;А. Вижива, асп.
motomustanger@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна**МОДЕЛЮВАННЯ ГОДОГРАФУ ВІДБИТИХ ХВИЛЬ
ДЛЯ СИЛЬНО АНІЗОТРОПНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА
З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ГРАНИЦЕЮ***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат наук, проф. Б.П. Масловим)*

У більшості систем обробки сейсмічних даних кінематичні поправки для сейсмічних відбиттів в умовах монотипних моделей геологічного середовища, розглядаються як гіперболічні, якщо максимальна відстань джерела від приймача (офсет), не перевищує глибини до відбиваючої границі. Для анізотропних моделей приймається до уваги наявність відхилення від гіперболічної поправки навіть для малих розносів. Недостатнє усвідомлення важливості негіперболічної кінематичної поправки значно знижує якість обробки сейсмічних даних та точність їхньої інтерпретації, особливо тих даних, які одержані з довго-офсетною системою спостережень. У цій статті розглядається вплив симетрії шару на форму площинного годографа квазіпоздовжньої хвилі для товстощарової моделі з горизонтальними границями, пружні сталі якої відповідають реальним, що визначені за сейсмічними методами в осадових товщах порід у природному заляганні. В роботі описуються та апробовуються алгоритми і програма чисельних розрахунків площинних годографів відбитих квазіпоздовжніх хвиль горизонтально-шаруватого середовища триклінної та ромбічної симетрії. Алгоритм ґрунтується на розв'язку задачі відбиття-заломлення хвилі на плоскій границі двох анізотропних середовищ. Для визначення відбитого і заломленого променів застосовується закон Снеліуса у вигляді рівності дотичних до границі компонент векторів рефракції (падаючої, відбитої, заломленої хвилі). Для знаходження проекції вектора рефракції відбитої хвилі на нормаль до відбиваючої поверхні використовують рівняння рефракції. Для моделей триклінної і ромбічної симетрії карти ізохрон площинних годографів мають азимутальний характер залежності, розташування екстремальних значень підпорядковане наявним елементам симетрії, зокрема для моделей ромбічної симетрії – площинам симетрії і осям другого порядку. Вперше на реальних пружних сталих для товщі глини встановлено, що симетрія карти ізохрон площинного годографа горизонтально шаруватого середовища строго відповідає пружній симетрії глинистого шару. Встановлено, що довго-розносні площинні годографи відбитих квазіпоздовжніх хвиль надають можливість оцінки пружної симетрії товщі та визначати характер азимутальної анізотропії сейсмічних швидкостей. Розроблений підхід відкриває широкі можливості для дослідження більш складних сейсмічних моделей, в яких негіперβολідність обумовлюється нахилом і кривизною відбиваючих границь, а також неоднорідністю геологічного середовища.

Ключові слова: годограф відбитих хвиль, анізотропія, симетрія, негіперβολідність.

Вступ. Застосування інваріантно-поляризаційного сейсмічного методу для визначення пружних сталих товщ осадових порід вперше забезпечило однозначну оцінку їх пружної симетрії [9]. Виявилось, що пружні сталі товщ глинистих і піщано-глинистих осадових порід мають планальну триклінну симетрію, а їх інтегральні коефіцієнти пружної анізотропії сягають величини майже 22%. Пружна симетрія карбонатної товщі задовольняє аксіальній ромбічній симетрії, а її коефіцієнт пружної анізотропії має величину більше 13%.

Наявність значної азимутальної анізотропії сейсмічних швидкостей в товщах осадових порід природного залягання значно ускладнює проведення таких найбільш важливих кроків обробки та інтерпретації сейсмічних даних, як корекція нормального приросту часу (NMO), аналіз швидкостей, міграція, AVO-аналіз [2,8].

Постановка проблеми. В традиційних системах обробки сейсмічних даних кінематичні поправки для відбиттів монотипних моделей вважаються гіперболічними, якщо довжина розносів не перевищує глибини до відбиваючої границі. Для анізотропних моделей приймається до уваги наявність відхилення від гіперболічної поправки навіть для малих розносів. Недостатнє усвідомлення важливості негіперболічної кінематичної поправки значно погіршує якість обробки сейсмічних даних, які одержані з довго-розносними установками.

Разом з тим, стає очевидним, що довго-розносна кінематична поправка має велике значення при дослідженні параметрів анізотропії сейсмічних хвиль та при аналізі змін амплітуд в AVO-аналізі. В цілому ряді робіт [16, 18] було розглянуто внесок анізотропії в довго-

розносну кінематичну поправку у випадку поперечно-ізотропної симетрії із вертикальною орієнтацією її головної осі.

І. Цванкін та Л. Томсен [19] побудували загальне рівняння негіперболічної кінематичної поправки, яка базується на NMO (нуль-офсетній) швидкості V_{NMO} та біквадратному коефіцієнтові кінематичної поправки A_4 функції $t^2(x^2)$.

Поведінка негіперболічної поправки стає набагато складнішою, а вибір методу оцінки V_{NMO} неоднозначним, якщо середовище має сильну азимутальну сейсмічну анізотропію. Складність їх застосування обумовлена залежністю біквадратної поправки A_4 від азимуту, так як азимутальна залежність V_{NMO} – еліпс [15, 19], що описується трьома параметрами, A_4 визначається п'ятьма величинами, коректна оцінка азимутальної залежності променевої швидкості залишається проблематичною.

У випадку азимутальної анізотропії задача відбиття-заломлення сейсмічних хвиль є суттєво тримірною [2, 4, 9, 13]. Це обумовлено наявністю двох типів хвиль: фазової, напрямом якої співпадає із хвильовою нормаллю до фронту хвилі, та променевої, яка визначає напрямом розповсюдження потоку енергії хвилі. Вектор пружних зміщень фазової швидкості і вектор хвильової нормалі не колінеарні, а вектор променевої швидкості є не колінеарним із векторами хвильової нормалі і пружних зміщень.

Площина падіння хвилі на границі двох анізотропних середовищ, в якій відбувається явище відбиття-заломлення хвиль, визначається нормаллю до фронту хвилі, а не променем падаючої хвилі, а також нормаллю до відбиваючої границі в точці її перетину із проме-

нем падаючої хвилі. Так званий "центровий" промінь, вздовж якого хвиля при відбитті повертається у точку збурення, не ортогональний до відбиваючої границі.

Оскільки у випадку азимутальної сейсмічної анізотропії всі основні принципи обробки та інтерпретації сейсмічних даних для ізотропних моделей порушуються, то введення одномірних негіперболічних поправок по своїй суті є не коректним. Оскільки задача відбиття-заломлення хвиль у середовищі із азимутальною анізотропією є по суті тримірною, площинний годограф відбитої хвилі в ізотропному середовищі являє собою гіперболоїд обертання [8, 11].

Проблема оцінки нормального приросту часу і впливу азимутальної анізотропії на величину довго-розносної кінематичної поправки є надзвичайно складною. Оскільки використання розвинення в ряд Тейлора $t^2(x^2)$ годографа [15, 16, 18, 19] вимагає апіорі визначення в аналітичній формі азимутальної залежності променевої швидкості, яку одержати для низькосиметричного анізотропного середовища практично неможливо. Лише при наявності в анізотропному середовищі площини симетрії, для її розтину дійсно можна одержати двомірне векторне рівняння променевої швидкості. Його можна розглядати як параметричну форму хвильової поверхні [13].

В роботі [17] для отримання явної аналітичної залежності групової швидкості квазіпоздовжної хвилі від напрямку запропоновано розвинення в ряд за сферичними функціями. Було розглянуто анізотропне середовище поперечно-ізотропної симетрії. Коефіцієнти цього розвинення засновуються на визначенні швидкості V_{NMO} . Разом з тим, питання оцінки точності променевої швидкості у випадку сильно анізотропного низькосиметричного азимутального середовища цим методом залишається відкритим.

Для подолання існуючих труднощів і неоднозначності при виборі методики співставлення параметрів годографа при визначенні V_{NMO} і нормального приросту часу та при визначенні довго-розносної кінематичної поправки необхідні певні методичні уточнення і спеціальні дослідження. Формально суть кінематичної поправки можна розглядати як процедуру визначення відхилення часу розповсюдження відбитої хвилі в реальному анізотропному геологічному середовищі від часу розповсюдження цієї ж хвилі в деякому найближчому до цього анізотропного середовища ізотропному середовищі, при умові розповсюдження хвиль по однаковим траекторіям променів. Оскільки форма годографа в найближчому до реального анізотропного геологічного середовища є гіперболоїдом обертання, то логічно і цю кінематичну поправку називати негіперболоїдною. Умови необхідні і достатні для вибору найближчого ізотропного середовища до реального анізотропного середовища за пружними властивостями можна знайти в роботах [1, 6, 13].

У цій статті розглядається вплив симетрії шару на форму площинного годографа квазіпоздовжної хвилі для товстошарової моделі, пружні сталі якої відповідають реальним, що визначені сейсмічними методами в осадових товщах порід у природньому заляганні. Описуються і апробовуються алгоритми і програма чисельних розрахунків площинних годографів відбитих квазіпоздовжних хвиль шаруватого середовища триклінної симетрії.

Теоретичний аспект. Розглядається задача побудови площинного годографа відбитої квазіпоздовжної хвилі для горизонтального товстошаруватого анізотропного середовища триклінної симетрії [3, 11, 13].

Нехай C_{ijkl} і ρ відповідно пружні сталі та густина шару, а h його потужність. Будемо вважати, що заданий одиничний вектор нормалі до відбиваючої границі $\vec{q}$.

Вводиться локальна система координат, вісь x_3 компланарна вектору $\vec{q}$. Початок локальної системи координат (точка О) співпадає із місцем розташування джерела сейсмічних коливань (рис. 1). Для визначення орієнтації осей локальної системи координат x_1 та x_2 спочатку задається хвильова нормаль падаючої хвилі $\vec{n}^0$, а потім визначається нормаль $\vec{a}$ до площини падіння хвилі $\vec{a} = [\vec{m} \times \vec{q}]$, вздовж якої орієнтована вісь x_2 . Тоді вісь x_1 , яка лежить у площині відбиваючої границі і колінеарна вектору $\vec{b} = [\vec{q} \times \vec{m}]$ [13]. Вектор рефракції падаючої хвилі $\vec{m}^0$ для заданого напрямку хвильової нормалі $\vec{n}^0$ в локальній системі координат знаходять користуючись розв'язком рівняння Гріна-Кристоффеля:

$$[\Lambda_{ij} - \delta_{ij}v^2]U_i = 0, \quad (1)$$

де $\Lambda_{ij} = C_{ijkl}/\rho$; U_i – вектор пружних зміщень, v – фазова швидкість.

Для падаючої квазіпоздовжної хвилі обчислюють фазову швидкість і вектори пружних зміщень. Знаходять вектор променевої швидкості $V_j^{(0)} = A_{ijkl} u_i u_k u_l / u$ і променеві кути падаючої хвилі θ_1 і ϕ_1 , а також вектор рефракції $\vec{m}^0 = \vec{n}^0 / v$.

Чисельний розв'язок задачі відбиття-заломлення хвилі ґрунтується на законі Снеліуса для анізотропного середовища, згідно з яким вектори рефракції падаючої, відбитих та заломлених хвиль відрізняються один від одного лише проекціями на нормаль до відбиваючої поверхні, а проекції векторів рефракції на граничну площину $\vec{b}$ повинні бути векторно однаковими між собою [3, 4, 6, 10, 13]. Лише у тому випадку, коли заданий вектор $\vec{b}$, з'являється можливість визначення напрямків і швидкостей (векторів рефракції) відбитих та заломлених хвиль, при умові коли ці параметри задані для падаючої хвилі.

Задача визначення проекцій векторів рефракції ξ відбитих хвиль на вісь x_3 локальної системи координат зводиться до розв'язку рівняння поверхні рефракції [13]:

$$|\Lambda^m - 1| = |\Lambda^m| - \Lambda_c^m + \Lambda_c^m - 1 = 0, \quad (2)$$

де $\Lambda^m = \lambda_{ijkl} m_j m_k$.

Спочатку параметризують рівняння (2) шляхом підстановки в нього загального виразу вектора рефракції:

$$\vec{m} = \vec{b} + \xi \vec{q}, \quad (3)$$

в якому невизначеним залишається лише оператор ξ , а $\vec{q}$ і $\vec{b}$ задані. В результаті одержуємо рівняння поліному 6-го ступеня із дійсними коефіцієнтами [13]:

$$|\Lambda^m - 1| = A_0 \xi^6 + 2A_1 \xi^5 + A_2 \xi^4 + 2A_3 \xi^3 + A_4 \xi^2 + A_5 \xi + A_6 = 0; \quad (4)$$

де

$$\begin{aligned} A_0 &= |\Lambda^q|; \quad A_1 = (\Lambda^q - B)_c; \quad A_2 = [\bar{\Lambda}^q (\Lambda^b - 1) + 4B\bar{\Lambda}^q]_c; \\ A_3 &= 4|B| + [(\Lambda^q + \Lambda^b - \bar{\Lambda}^q - \bar{\Lambda}^b)B]_c - \Lambda_c^q B_c + (\Lambda^q B)_c; \\ A_4 &= [(\Lambda^b - 1)\Lambda^q + 4B(\Lambda^b - 1)]_c; \quad A_5 = [(\Lambda^b - 1)B]_c; \\ A_6 &= [\Lambda^b - 1] \end{aligned} \quad (5)$$

Тут компоненти тензора другого рангу позначені B_{ij} знаходять за формулою:

$$B_{il} = \frac{1}{2} \lambda_{ilk} (b_j q_k + q_j b_k); \quad (6)$$

А тензорні взаємні матриці визначають із співвідношень:

$$\bar{\Lambda}_{ns}^q = \frac{1}{2} \varepsilon_{ils} \varepsilon_{imn} \Lambda_{il}^q \Lambda_{jm}^q; \quad \Lambda_{il}^q = \lambda_{ijk} q_j q_k;$$

$$\bar{\Lambda}_{ns}^b = \frac{1}{2} \varepsilon_{ijs} \varepsilon_{imn} \Lambda_{il}^b \Lambda_{jm}^b; \quad \Lambda_{il}^b = \lambda_{ijk} b_j b_k;$$

$$\bar{B}_{ns} = \frac{1}{2} \varepsilon_{ijs} \varepsilon_{imn} B_{il} \Lambda_{jm}^q. \quad (7)$$

Тензорні матриці, взаємні до суми тензорних матриць, визначають наступним чином:

$$(\bar{\Lambda}^q + \bar{\Lambda}^b)_{ns} = \frac{1}{2} \varepsilon_{ijs} \varepsilon_{imn} (\Lambda_{il}^q + \Lambda_{il}^b) (\Lambda_{jm}^q + \Lambda_{jm}^b), \quad (8)$$

зокрема слід добутку тензорних матриць визначають за формулою

$$[(\Lambda^{b-1})B]_c = (\Lambda^{b-1})_{ij} B_{ji}, \quad (9)$$

а для сліду різниці тензорних матриць справедлива рівність

$$(\bar{\Lambda}^q - B)_c = \bar{\Lambda}_c^q - B_c, \quad (10)$$

детермінант тензорної матриці можна представити у такому вигляді:

$$|\Lambda^q| = \frac{1}{6} \varepsilon_{ijk} \varepsilon_{imn} \Lambda_{il}^q \Lambda_{jm}^q \Lambda_{kn}^q, \quad (11)$$

ε_{ijk} , ε_{imn} – тензори Левічі-Віта, с- слід тензорної матриці.

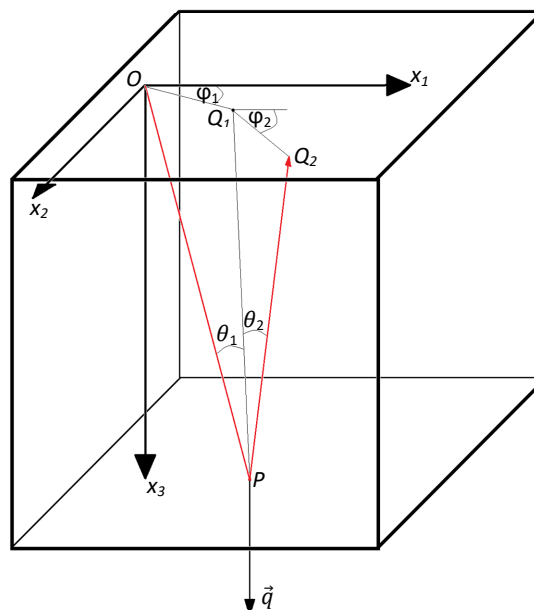


Рис. 1. Променева схема розповсюдження для відбитої квазіпоздовжньої сейсмічної хвилі в горизонтальному товстошаруватому анізотропному середовищі

Рівняння має шість коренів (дійсних або комплексних спряжених), з яких для відбитих хвиль відбирають три від'ємних корені, а для заломлених – три додатні.

Складові вектора рефракції $\vec{m}$ відбитих хвиль повинні задовольняти умові випромінювання:

$$(\vec{m} \cdot \vec{V}^{(i)}) < 0, \quad (12)$$

де $\vec{V}^{(i)}$ – вектор променевої швидкості.

Якщо знайдено вектор рефракції відбитої хвилі $\vec{m}$, то можна обчислити і компоненти вектора хвильової нормалі відбитої хвилі:

$$n_1 = m_1 v, \quad n_2 = m_2 v, \quad n_3 = m_3 v, \quad (13)$$

Оскільки $|\vec{m}| = \frac{1}{v}$.

Компоненти вектора променевої швидкості обчислюємо за формулою [13]:

$$\bar{V}_i^{(i)} = \frac{c_{ijk} (\Lambda^m - 1)_{jl} m_k}{(\Lambda^m - 1)_c}, \quad (14)$$

а потім після його нормування знаходимо променеві кути θ_2 і ϕ_2 . Час розповсюдження t_1 для падаючого і t_2 для відбитого променів розраховують за формулами:

$$t_1 = \frac{h}{V(\theta_1) \cos \theta_1}, \quad t_2 = \frac{h}{V(\theta_2) \cos \theta_2}, \quad (15)$$

де $V(\theta_1)$ і $V(\theta_2)$ – модулі векторів променевої швидкості, відповідно, падаючої і відбитої сейсмічної хвилі.

Розглянемо траєкторію променя, який розповсюджується від джерела (рис. 1, точка O) до точки перетину з відбиваючою поверхнею (точка P), який після відбиття реєструється в точці Q_2 на поверхні сейсмічних спостережень.

Відрізки проєкцій променя на горизонтальну поверхню спостережень $OQ_1=l_1$ і $Q_1Q_2=l_2$ визначаємо за формулами:

$$l_1 = h \tan \theta_1, \quad l_2 = h \tan \theta_2. \quad (16)$$

Відповідно, оскільки відомі променеві кути падаючої та відбитої хвилі, знаходимо їх проєкції на осі локальної системи координат:

$$x'_1 = l_1 \cos \phi_1, \quad x'_2 = l_1 \sin \phi_1, \\ \bar{x}_1 = l_2 \cos \phi_2, \quad \bar{x}_2 = l_2 \sin \phi_2. \quad (17)$$

Координати точки Q_2 , в якій буде зареєстровано відбиту сейсмічну хвилю, можна обчислити за формулами:

$$x_1 = x'_1 + \bar{x}_1, \quad x_2 = x'_2 + \bar{x}_2. \quad (18)$$

Таким чином, знайдено час і координати точки реєстрації відбитої квазіпоздовжньої хвилі на поверхні спостережень.

Алгоритм програми. Для забезпечення трудомістких чисельних розрахунків розроблений алгоритм і програма, які дозволяють повністю автоматизувати весь

процес розрахунків і графічну візуалізацію одержаних результатів. Блок-схема алгоритму показана на рис. 2. Як видно із наведених даних, вхідні дані для чисельних розрахунків відбитої хвилі включають пружні сталі $C_{\mu\nu}$ і густину ρ горизонтально залягаючого товстошаруватого анізотропного середовища потужністю h . Задають напрямком хвильової нормалі падаючої хвилі $\vec{n}$ і формують базис локальної системи координат. Оскільки пружні сталі задані в стандартній акустичній системі координат, необхідно здійснити їх перетворення до локальної

системи координат. Для цього використовують матричну формулу перетворень пружних сталей [1, 5].

$$C^{\chi'\lambda'}_{\mu\nu} = Q^{\chi'}_{\mu} Q^{\lambda'}_{\nu} C^{\mu\nu}, \quad (19)$$

де $\chi', \lambda', \mu, \nu$ пробігають значення від 1 до 6. Елементи матриці $Q^{\chi'}_{\mu}$ наведені в табл. 1.

Матриця ортогональних перетворень C_{ik} :

$$C_{ik} = \begin{pmatrix} C_{1'1} & C_{1'2} & C_{1'3} \\ C_{2'1} & C_{2'2} & C_{2'3} \\ C_{3'1} & C_{3'2} & C_{3'3} \end{pmatrix} \quad (21)$$

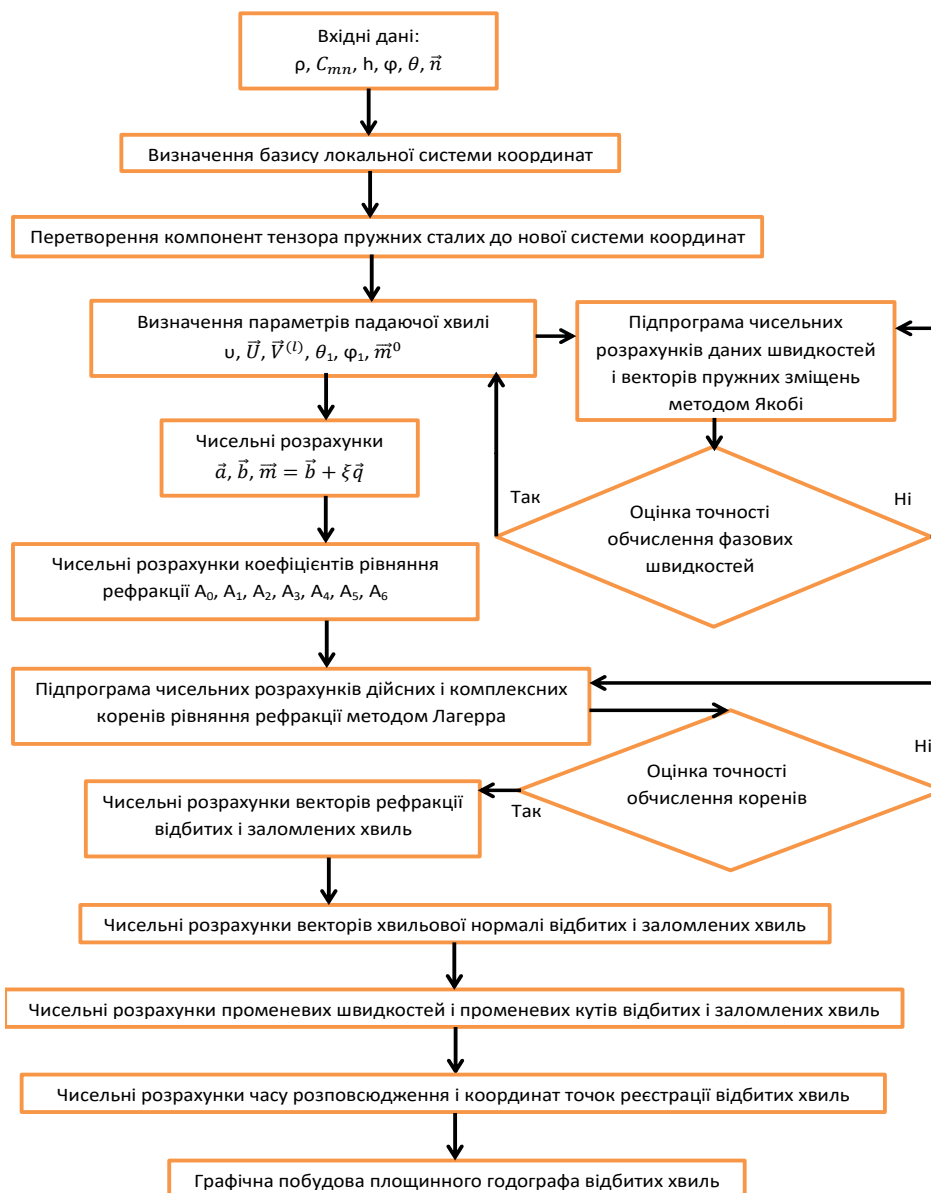


Рис. 2. Блок-схема алгоритму програми чисельних розрахунків і графічного відображення площинного годографа відбитих хвиль анізотропного середовища.

Таблиця 1

Матриця перетворення пружних сталей у заданій системі координат

$Q^{\chi'}_{\mu}$	1	2	3	4	5	6
1'	$C^z_{1'1}$	$C^z_{1'2}$	$C^z_{1'3}$	$2 C_{1'2} C_{1'3}$	$2 C_{1'3} C_{1'1}$	$2 C_{1'1} C_{1'2}$
2'	$C^z_{2'1}$	$C^z_{2'2}$	$C^z_{2'3}$	$2 C_{2'2} C_{2'3}$	$2 C_{2'3} C_{2'1}$	$2 C_{2'1} C_{2'2}$
3'	$C^z_{3'1}$	$C^z_{3'2}$	$C^z_{3'3}$	$2 C_{3'2} C_{3'3}$	$2 C_{3'3} C_{3'1}$	$2 C_{3'1} C_{3'2}$
4'	$C_{2'1} C_{3'1}$	$C_{2'2} C_{3'2}$	$C_{2'3} C_{3'3}$	$C_{2'2} C_{3'3} + C_{2'3} C_{3'2}$	$C_{2'3} C_{3'1} + C_{2'1} C_{3'3}$	$C_{2'1} C_{3'2} + C_{2'2} C_{3'1}$
5'	$C_{3'1} C_{1'1}$	$C_{3'2} C_{1'2}$	$C_{3'3} C_{1'3}$	$C_{3'2} C_{1'3} + C_{3'3} C_{1'2}$	$C_{3'3} C_{1'1} + C_{3'1} C_{1'3}$	$C_{3'1} C_{1'2} + C_{3'2} C_{1'1}$
6'	$C_{1'1} C_{2'1}$	$C_{1'2} C_{2'2}$	$C_{1'3} C_{2'3}$	$C_{1'2} C_{2'3} + C_{1'3} C_{2'2}$	$C_{1'3} C_{2'1} + C_{1'1} C_{2'3}$	$C_{1'1} C_{2'2} + C_{1'2} C_{2'1}$

Зв'яже "стару" систему координат x_i , яка побудована на базисі $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$ – це власні вектори акустичного тензора (стандартна акустична система координат) і "нову" x'_i , яка побудована на базисі $\vec{e}'_1, \vec{e}'_2, \vec{e}'_3$ – локальна система координат ($\vec{e}'_1 \parallel \vec{b}, \vec{e}'_2 \parallel \vec{a}, \vec{e}'_3 \parallel \vec{q}$). Її називають також матрицею косинусів, оскільки кожен її елемент дорівнює косинусу кута між відповідними осями координат [5]:

$$C_{i'k} = \vec{e}'_i \cdot \vec{e}_k = \cos(\widehat{x'_{i'}, x_k}) \quad (22)$$

Чисельні розрахунки фазових швидкостей квазіпоздовжних хвиль і векторів їх поляризації для заданого напрямку хвильової нормалі здійснюють модифікованим методом обертання Якобі [1,7]. Власні значення і власні вектори тензора Кристофеля $\Lambda_{ij}(\vec{n})$ знаходять чисельно методом обертання, який забезпечує абсолютну стійкість і швидко збіжність ітераційного процесу, на який не впливає зокрема виродження матриці тензора Кристофеля. Визначення векторів пружних зміщень і фазової швидкості забезпечує чисельні розрахунки векторів рефракції, променевої швидкості та променевих кутів хвиль в локальній системі координат.

Для розв'язку рівняння рефракції застосовується метод Лагерра [20]. Алгоритм цієї підпрограми ґрунтується на наступних співвідношеннях для полінома 6-го ступеня із дійсними коефіцієнтами:

$$P_6(x) = (x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_6),$$

$$\ln(P_6(x)) = \ln(x - x_1) + \ln(x - x_2) + \dots + \ln(x - x_6),$$

$$\frac{d \ln(P_6(x))}{dx} = \frac{1}{x - x_1} + \frac{1}{x - x_2} + \dots + \frac{1}{x - x_6} = \frac{P'_6}{P_6} = G, \quad (23)$$

$$-\frac{d^2 \ln(P_6(x))}{dx^2} = \frac{1}{(x - x_1)^2} + \frac{1}{(x - x_2)^2} + \dots + \frac{1}{(x - x_6)^2} = \left(\frac{P'_6}{P_6}\right)^2 - \frac{P''_6}{P_6} = H.$$

Якщо корінь x_1 знаходиться на відстані ζ від поточного наближення, то припускають, що всі інші корені знаходяться на відстані χ :

$$x - x_1 = \zeta, \quad x - x_i = \chi, \quad i = 2, 3, \dots, 6, \quad (24)$$

тоді

$$\frac{1}{\zeta} + \frac{n-1}{\chi} = G, \quad \frac{1}{\zeta^2} + \frac{n-1}{\chi^2} = H, \quad n = 6, \quad (25)$$

звідки

$$\zeta = \frac{n}{G \pm \sqrt{(n-1)(nH - G^2)}}. \quad (26)$$

Знак у формулі (26) перед коренем вибирають таким чином, щоб одержати найбільше значення знаменника. Ітераційний процес побудований таким чином, щоб забезпечити наперед задану точність визначення коренів поліному, тобто, компонент векторів рефракції відбитих і заломлених хвиль. Алгоритм побудований таким чином, що чисельні розрахунки часу розповсюдження відбитої хвилі здійснюють із заданим кроком по заданому азимутальному (0° - 360°) і полярному куту (0° - 70°), і результати виводяться у форматі, який забезпечує побудову поля ізохрон площинного годографа відбитої хвилі в системі графічної візуалізації Surfer.

Таблиця 2
Експериментальні значення (C_{mn} , ГПа) осадової товщі відкладів в робочій системі координат за даними роботи [9]

Матричні індекси mn	Літологія	
	Карбонатна товща	Глиниста товща
11	17.79	9.16
22	14.00	10.04
33	13.85	7.28
44	3.47	0.71
55	3.41	0.86
66	2.71	1.52
12	5.00	1.90
13	9.30	5.81
23	7.00	3.95
14	0	0.29
15	0	0.04
16	0	0.15
24	0	-0.02
25	0	-0.14
26	0	-0.02
34	0	0.32
35	0	0.14
36	0	0.20
45	0	0.02
46	0	0.13
56	0	-0.05
Пружна симетрія	Аксіальна ромбічна	Планальна триклінна
Густина, г/см ³	1.986	2.193
Інтегральний коефіцієнт анізотропії $\frac{A_i}{A_r(A_r)}$	$\frac{13.08}{-}$	$\frac{21.92}{0}$

A_i – інтегральний коефіцієнт анізотропії (ступінь відхилення від ізотропії);

$A_r(A_r)$ – інтегральний коефіцієнт анізотропії;

Негіперболоїдність площинного годографа відбитої квазіпоздовжньої хвилі. Беручи до уваги тримірність поставленої задачі, зроблена спроба оцінити сту-

пінь відхилення площинних годографів відбитої квазіпоздовжньої хвилі від гіперболоїда для азимутально анізотропного горизонтально шаруватого середовища.

Рівняння годографа відбитої поздовжньої хвилі для ізотропного горизонтально шаруватого середовища найближчого до заданого анізотропного середовища має вигляд:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x_1^2}{\bar{v}^2} + \frac{x_2^2}{\bar{v}^2} \quad (29)$$

де $t_0 = \frac{2n}{\bar{v}}$; n – потужність шару; $\bar{v}^2 = \frac{C_{11}^0}{\rho}$ – променева

швидкість; C_{11}^0 – пружна стала ізотропного середовища найближчого до заданого анізотропного середовища.

Рівняння площинного годографа є гіперболоїдом обертання.

У відповідності до загальноприйнятої термінології швидкість NMO визначається із співвідношення:

$$V_{NMO} = \bar{v} = \sqrt{\frac{\bar{C}_{11}}{\rho}}, \quad (30)$$

де $\bar{C}_{11} = \frac{1}{15} [3(C_{11} + C_{22} + C_{33}) + 2(C_{12} + C_{13} + C_{23}) + 4(C_{44} + C_{55} + C_{66})]$, C_{mn} – пружні сталі заданого реального азимутально анізотропного середовища.

Формально пружні сталі ізотропного середовища, найближчого до заданого анізотропного середовища, представляють собою осереднені пружні сталі в наближенні Фойгта C_{mn} [1]. Отже, нормальна кінематична швидкість V_{NMO} площинного годографа, який має форму гіперболоїда обертання, визначається осередненими пружними сталими в наближенні Фойгта. Такий апроксимаційний підхід застосовується і при використанні моделей слабоанізотропного середовища, в яких зазвичай приймають для $C_{mn} = \bar{C}_{mn} + \Delta C_{mn}$ ($\Delta C_{mn} \ll 1$) [17].

Було розглянуто горизонтальні товстошаруваті анізотропні моделі, пружні сталі яких визначалися сейсмічними методами в їх природньому заляганні і наведені в таблиці 2. Як видно із наведених результатів чисельних розрахунків (рис. 3, 4), симетрія карт ізохрон площинних годографів для горизонтально шаруваті глинистої товщі строго відповідає симетрії пружних сталей розглянутих моделей. Для моделей триклінної і ромбічної симетрії карти ізохрон площинних годографів мають азимутальний характер залежності, розташування екстремальних значень підпорядковане наявним елемен-

там симетрії, зокрема для моделей ромбічної симетрії – площинам симетрії і осям другого порядку.

Область найменших значень часу розповсюдження хвилі тяжіє, як і очікувалось, до координат місця розташування джерела сейсмічних коливань, але форма ізохрон асиметрична відносно точки О і це є результатом впливу асиметризації, обумовленої триклінною симетрією глинистої товщі (рис. 3). Відповідно, екстремальні точки ізохрон, які характеризують максимальні величини часу приходу квазіпоздовжньої хвилі для глинистої товщі триклінної симетрії, також розташовуються різко асиметрично.

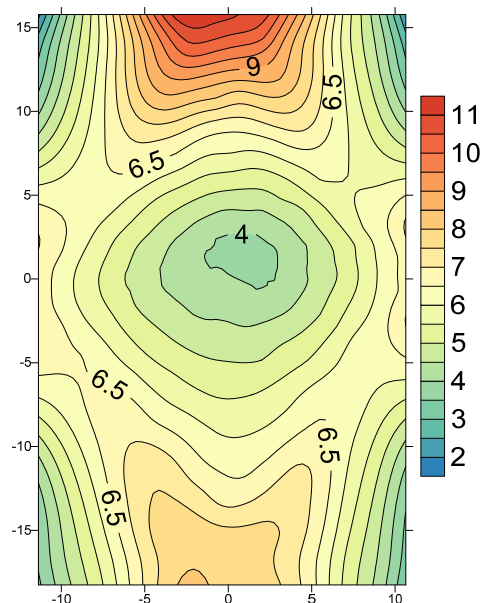


Рис. 3. Карта ізохрон поверхневого годографа квазіпоздовжньої хвилі для горизонтально залягаючої глинистої товщі триклінної симетрії

Вплив аксіальної ромбічної симетрії карбонатної товщі спостерігається на карті ізохрон поверхневого годографа квазіпоздовжньої хвилі (рис. 4). Аксіальний характер азимутальної анізотропії квазіпоздовжньої хвилі проявляється у практичній відсутності екстремальних точок на карті ізохрон, крім очевидної, яка відповідає мінімуму в точці місцезонашування джерела.

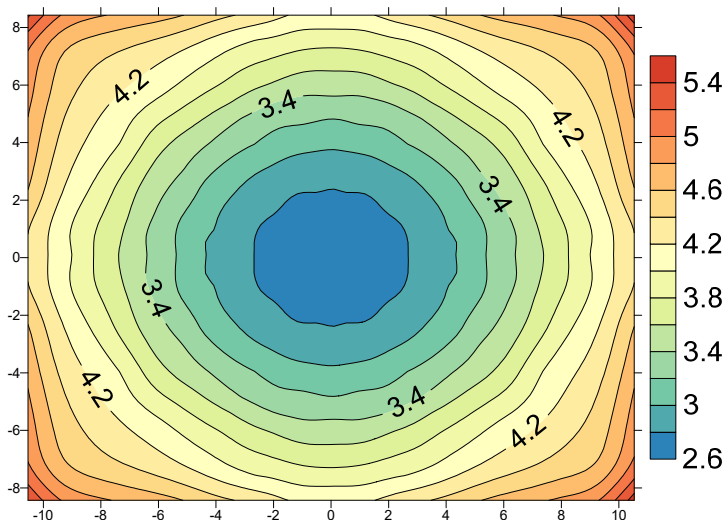


Рис. 4. Карта ізохрон поверхневого годографа квазіпоздовжньої хвилі для горизонтально залягаючої карбонатної товщі ромбічної симетрії

Висновки. Розроблений і апробований алгоритм і програма чисельних розрахунків поверхневих географів для шаруватого середовища триклінної симетрії. Алгоритм ґрунтується на розв'язку задачі відбиття-заломлення хвилі на плоскій границі двох анізотропних середовищ. Для визначення відбитого і заломленого променів застосовується закон Снеліуса у вигляді рівності дотичних до границі компонент векторів рефракції (падаючої, відбитої, заломленої хвилі). Для знаходження проекції вектора рефракції відбитої хвилі на нормаль до відбиваючої поверхні використовують рівняння рефракції.

Вперше на реальних пружних сталих для товщі глин встановлено, що симетрія карти ізохрон площинного географа горизонтально шаруватого середовища строго відповідає пружній симетрії глинистого шару. Це означає, що довго-розносні площинні географи відбитих квазіпоздовжних хвиль надають можливість оцінки пружної симетрії товщі, і, відповідно, визначати характер азимутальної анізотропії сейсмічних швидкостей.

Розроблений підхід відкриває широкі можливості для дослідження більш складних сейсмічних моделей, в яких негіперболоїдність обумовлюється нахилом і кривизною відбиваючих границь, а також неоднорідністю.

Список використаних джерел

1. Александров К.С. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород / К.С. Александров, Г.Т. Продайвода // Новосибирск. – 2000. – Изд. СО РАН. – 354 с.
2. Вижва С.А. AVO-аналіз та інверсія сейсмічних даних / С.А. Вижва, Г.Т. Продайвода, П.М. Кузьменко // Київ. – 2014. – ВПЦ "Київський університет". – 263 с.
3. Оболенцева И.Р. Лучевой метод в анизотропной среде (алгоритмы, программы) / И.Р. Оболенцева, В.Ю. Гречка // Новосибирск. – 1989. – Под ред. С.В. Гольдина. – 225 с.
4. Петрашень Г.И. Распространение волн в анизотропных упругих средах // Ленинград. – 1980. – Наука. – 280 с.
5. Продайвода Г.Т. Теорія і задачі механіки суцільного середовища // Київ. – 1998. – ВЦ "Київський університет" – 183 с.
6. Продайвода Г.Т. Основи сейсмоакустики // Київ. – 2001. – ВЦ "Київський університет". – 296 с.
7. Продайвода Г.Т. Автоматизированная система численного анализа параметров анизотропии объемных упругих волн / Г.Т. Продайвода, В.И. Нейман, Ю.В. Нахшин // Вестник Киевского университета, серия Геология. – 1990. – №9. – с. 43–54.
8. Продайвода Г.Т. Сейсморозвідка / Г.Т. Продайвода, О.А. Трипільський, С.С. Чулков // Київ. – 2008. – ВПЦ "Київський університет". – 315 с.
9. Продайвода Г.Т. Чисельні розрахунки пружних сталих осадових порід у триклінному наближенні за даними вертикального сейсмічного профілювання / Г.Т. Продайвода, П.М. Кузьменко, А.С. Вижва // Геофізический журнал. – 2015. – т. 37. – №3. – С. 102–123.
10. Распространение объемных волн и методы расчета волновых полей в анизотропных упругих средах // Ленинград. – 1984. – Под ред. Г.И. Петрашеня. – Наука. – 283 С.
11. Сейсморозведка: Справочник геофизика // Москва. – 1990. – Под ред. В.П. Номоконова, кн.1. – Недра. – 336 С.
12. Тимошин Ю.В. Мнимый источник сейсмических волн в анизотропной брете / Ю.В. Тимошин, Г.Д. Лесной, Н.Т. Кискина // Вестник Киевского университета, Геология. – 1990. – №9. С. 37 – 43.
13. Федоров Ф.И. Теория упругих волн в кристаллах // Москва. – 1965. – Наука. – 386 С.
14. Byun B.S. Anisotropic velocity analysis for lithology discrimination / B.S. Byun, D. Corrigan, J.E. Gaiser // Geophysics. – 1989. – v. 54. – №12. – P. 1564–1574.
15. Grechka, V. Quartic reflection moveout in a weakly anisotropic dipping layer / V. Grechka, A. Pech // Geophysics. – 2006. – v. 71. – №1. – P. D1-D13.
16. Hake H. Three-term Taylor series for $t_2 - x^2$ curves over layered transversely isotropic ground / H. Hake, K. Helbig, C. S. Mesdag // Geophysical Prospecting. – 1984. – v.32. – P. 828 – 850.
17. Colin M. Sayers. Seismic traveltimes analysis of azimuthally anisotropic media; theory and experiment / Colin M. Sayers, Daniel A. Ebram // Geophysics. – 1997. – v.62. – №5. – P.1570 – 1582.
18. Taner M.T. Velocity spectra-digital computer derivation and applications of velocity functions / M.T. Taner, F. Koehler // Geophysics. – 1969. – v.34. – №6. – P. 859 – 881.
19. Tsvankin I. Nonhyperbolic reflection moveout in anisotropic media / I. Tsvankin, L. Thomsen // Geophysics. – 1994. – v.59. – №8. – P. 1290–1304.
20. Press W.H. "Section 9.5.3. Laguerre's Method". *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing* (3rd ed.) / W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery // New York: Cambridge University Press. – P. 466 – 469.

References

1. Alexandrov, K.S., Prodaivoda, G.T. (2000). Anisotropy of elastic properties of minerals and rocks [Anizotropiya uprugikh svoystv mineralov i gornyykh porod]. Novosibirsk: Izd. SO RAN. 354 p. [In Russian].
2. Vyzhva, S.A., Prodayvoda, G.T., Kuzmenko, P.M. (2014). AVO-analysis and seismic data inversion [AVO-analis ta inversiya seismichnykh danykh]. K.: VPC "Kyivskiy Universytet" – Publishing Center "University of Kyiv", 263 p. [In Ukrainian].
3. Obolentseva, I.R., Grechka, V.Yu. (1989). Ray method in anisotropic media (algorithms, programs) [Luchevoy metod v anizotropnoy srede (algoritmy, programmy)]. Under edition of S.V. Goldin, Novosibirsk, 225 p. [In Russian].
4. Petrashen, G.I. (1980). Waves propagation in anisotropic elastic medias [Rasprostraneniye voln v anizotropnykh uprugikh sredakh]. L.: Nauka – Science, 280 p. [In Russian].
5. Prodayvoda, G.T. (1998). Theory and problems of mechanics of continuous media [Teoriya i zadachi mekhaniki sutslinogo sredovyscha]. K.: VPC "Kyivskiy Universytet" – Publishing Center "University of Kyiv", 183 p. [In Ukrainian].
6. Prodayvoda, G.T. (2001). Basics of seismoacoustic [Osnovy seismoakustiky]. K.: VPC "Kyivskiy Universytet" – Publishing Center "University of Kyiv", 296 p. [In Russian].
7. Prodayvoda, G.T., Neyman, V.I., Nakhshyn, Yu.V. (1990). Automated system for numerical analysis of anisotropy parameters of bulk elastic waves [Avtomatizirovannaya sistema chislennogo analiza parametrov anizotropii obemnykh uprugikh voln]. Vestnik Kievskogo universiteta, seria Geologiya – Bulletin of Kyiv University, Series Geology, 9, 43-54. [In Russian].
8. Prodayvoda, G.T., Trypilskiy, O.A., Chulkov, S.S. (2008). Exploration Seismic [Seismorozvidka]. K.: VPC "Kyivskiy Universytet" – Publishing Center "University of Kyiv", 315 p. [In Ukrainian].
9. Prodayvoda, G.T., Kuzmenko, P.M., Vyzhva, A.S. (2015). Numerical calculation of elastic constants for sedimentary strata in triclinic approximation based on vertical seismic profiling data [Chyselnyy rozrakhunky pruzhnykh stalykh za danymy vertykalnogo seismichnogo profiluvannya]. Geofizichnyi zhurnal – Geophysical Journal, 37, 3, 102-123. [In Ukrainian].
10. Bulk waves propagation and methods of wave fields calculation in anisotropic elastic medias [Rasprostraneniye obemnykh voln i metody rascheta volnovykh poley v anizotropnykh uprugikh sredakh]. (1984). Pod redakciye G.I. Petrashenya, L.: Nauka – Under edition of G.I. Petrashenya, L.: Science, 283 P. [In Russian].
11. Exploration seismic: Geophysics guide [Seismorozvedka: Spravochnik geofizika]. (1990). Pod redakciye V.P. Nomokonova – Under edition of V.P. Nomokonov, Book 1, M.: Nedra, 336 P. [In Russian].
12. Timoshyn, Yu.V., Lesnoy, G.D., Kiskina, N.T. (1990). The imaginary source of the seismic waves in anisotropic media [Mnimiy istochnik seismicheskikh voln v anizotropnoy srede]. Vestnik Kievskogo universiteta, Geologia – Bulletin of University of Kiev, Geology, 9, 37-43. [In Russian].
13. Fedorov, F.I. (1965). Theory of elastic waves in crystals [Teoriya uprugikh voln v kristalakh]. M.: Nauka – M.: Science, 386 P. [In Russian].
14. Byun, B.S., Corrigan, D., Gaiser, J.E. (1989). Anisotropic velocity analysis for lithology discrimination // Geophysics, 54, 12, 1564–1574.
15. Grechka, V., Pech, A. (2006). Quartic reflection moveout in a weakly anisotropic dipping layer // Geophysics, 71, 1, D1-D13.
16. Hake, H., K. Helbig, and C. S. (1984). Mesdag Three-term Taylor series for $t_2 - x^2$ curves over layered transversely isotropic ground. Geophysical Prospecting, 32, 828-850.
17. Colin M. Sayers, Daniel, A. (1997). Ebram Seismic traveltimes analysis of azimuthally anisotropic media; theory and experiment. Geophysics, 62, 5, 1570-1582.
18. Taner, M.T., Koehler, F. (1969). Velocity spectra-digital computer derivation and applications of velocity functions. Geophysics, 34, 6, 859-881.
19. Tsvankin, I., Thomsen, L. (1994). Nonhyperbolic reflection moveout in anisotropic media. Geophysics, 59, 8, 1290-1304.
20. Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P. (2007). "Section 9.5.3. Laguerre's Method". Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (3rd ed.). New York: Cambridge University Press. 466-469.

Надійшла до редколегії 27.02.16

G. Prodaivoda, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor
prodgeo@ukr.net;
P. Kuzmenko, PhD (in Geology), Associate Professor
pavlokn@ukr.net;
A. Vyzhva, PhD Student
motomustanger@ukr.net;
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

TRAVEL-TIMES MODELING OF REFLECTED WAVES FOR HORIZONTAL LAYER WITH STRONG ANISOTROPY

In the most seismic data processing software NMO-corrections for monothipic models of subsurface are considered as hyperbolic in the case if maximum offset does not exceed a depth to the reflecting surface. For anisotropic models are considered the presence of deviations from hyperbolic form of NMO-corrections even for small offsets. Awareness lack of the importance of non-hyperbolic moveout significantly reduces the quality of seismic data and the interpretations accuracy, especially for data derived using long-offset acquisition scheme. This article discusses the effect of geological symmetry influence of layer on a form of quasi P-wave travel-times for models with thick horizontal boundaries. Elastic modulus of layers are similar as real and identified using seismic methods in sedimentary strata. The paper describes the results of tests the methods and algorithms of travel-times computation for quasi P-wave in the case of horizontally layered medium with triclinic and orthorhombic symmetry. The algorithm is based on the solving task of reflection and refraction waves on a plane interface with two anisotropic layers. To determine the reflected and refracted rays used the Snell's law as equal to the tangential component of the boundary of the refraction vectors (incident, reflected, refracted waves). For finding the refraction projection of the reflected wave on the normal to the reflection surface is used the equation of refraction.

For models with triclinic and orthorhombic symmetry maps of travel-times isochrones has azimuthal dependence, the location of extreme values adheres to existing elements of symmetry, in particular for models with orthorhombic symmetry to symmetry planes and axes of the second order. For the first time on the real elastic modulus for shale rocks was investigated that the symmetry of the travel-times surface of horizontally layered medium adheres to the elastic symmetry of the shale layer. It was found that long-offset travel-times of reflected waves provide an opportunity to assess the symmetry of layer and determine the nature of the azimuthal anisotropy of seismic velocities. The developed approach opens up wide possibilities for the investigation of complex seismic models in which non-hyperbolic dependence of NMO-corrections determined by the dip and curvature of reflectors, as well as heterogeneity of geological media.

Keywords: travel-times of reflected waves, anisotropy, symmetry, nonhyperbolicity

Г. Продайвода, д-р физ.-мат. наук, проф.
prodgeo@ukr.net;
П. Кузьменко, канд. геол. наук, доц.
pavlokn@ukr.net;
А. Выжва, асп.
motomustanger@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОДОГРАФА ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ДЛЯ СИЛЬНО АНИЗОТРОПНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГРАНИЦЕЙ

В большинстве систем обработки сейсмических данных кинематические поправки для сейсмических отражений в условиях монотипных моделей геологической среды, рассматриваются как гиперболические, если максимальное расстояние источника от приемника (оффсет), не превышает глубины до отражающей границы. Для анизотропных моделей принимается во внимание наличие отклонения от гиперболической поправки даже для малых разносов. Недостаточное осознание важности негиперболической кинематической поправки значительно снижает качество обработки сейсмических данных и точность их интерпретации, особенно тех данных, которые получены с длинно-оффсетной системой наблюдений. В этой статье рассматривается влияние симметрии слоя на форму плоскостного годографа квазипродольной волны для толстослойной модели с горизонтальными границами, упругие стали которой соответствуют реальным, определенных по сейсмическим методами в осадочных толщах пород в естественном залегании. В работе описываются и апробируются методы и программа численных расчетов площадных годографов отраженных квазипродольных волн горизонтально-слоистой среды триклинной и ромбической симметрии. Алгоритм основывается на решении задачи отражения-преломления волны на плоской границе двух анизотропных сред. Для определения отраженного и преломленного лучей применяется закон Снеллиуса в виде равенства касательных к границе компонент векторов рефракции (падающей, отраженной, преломленной волн). Для нахождения проекции вектора рефракции отраженной волны на нормаль к отражающей поверхности используют уравнение рефракции. Для моделей триклинной и ромбической симметрии карты изохрон площадных годографов имеют азимутальный характер зависимости, расположение экстремальных значений подчинено имеющимся элементам симметрии, в частности для моделей ромбической симметрии – плоскостям симметрии и осям второго порядка. Впервые на реальных упругих постоянных для толщи глин установлено, что симметрия карты изохрон площадного годографа горизонтально слоистой среды строго соответствует упругой симметрии глинистого слоя. Установлено, что долго-разносные плоскостные годографы отраженных квазипродольных волн предоставляют возможность оценки упругой симметрии толщи и определять характер азимутальной анизотропии сейсмических скоростей. Разработанный подход открывает широкие возможности для исследования более сложных сейсмических моделей, в которых негиперболическая обуславливается наклоном и кривизной отражающих границ, а также неоднородностью геологической среды.

Ключевые слова: годограф отраженных волн, анизотропия, симметрия, негиперболическость.

УДК: 550.3+558.1

Д. Главацький, мол. наук. співроб.
E-mail: hlavatskyi@gmail.comВ. Бахмутов, д-р геол.-мінералог. наук
E-mail: bakhmutovvg@gmail.comІнститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
пр. Палладіна, 32, м. Київ, 03860, УкраїнаА. Богуцький, канд. геол.-мінералог. наук, проф.
E-mail: pleistocene@ukr.netП. Волошин, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
E-mail: petro.voloshyn@lnu.edu.ua
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. П. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна

ПЕТРОМАГНЕТИЗМ І ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ СУБАЕРАЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ РОЗРІЗІВ БОЯНИЧІ І КОРШІВ (ВОЛИНСЬКА ВИСОЧИНА)

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

Проведено петромагнітні та палеомагнітні дослідження лесово-ґрунтових розрізів Бояничі і Коршів (Волинська височина). Наведено розподіл магнітних параметрів уздовж літостратиграфічної колонки (природна залишкова намагніченість, магнітна сприйнятливість, параметри анізотропії магнітної сприйнятливості). Варіації магнітних параметрів не корелюють з літологією розрізів, тому лесово-ґрунтову товщу Волинської височини не можна віднести ані до "алаякського", ані до "китайського" типу субаеральних відкладів. Породи характеризуються високою стабільністю до впливу змінного магнітного поля й температури, що пов'язано з присутністю висококоерцитивного магнетика, ймовірно, гематиту. І у лесах, і у ґрунтах переважно зберігається первинна осадова магнітна текстура. Виділена характеристична компонента намагніченості має виключно пряму полярність, у жодному з рівнів не виявлено екскурсів зворотної полярності. Границю Матуяма-Брюнес у нижній частині обох розрізів не встановлено, формування відкладів відбувалося в епоху прямої полярності Брюнес, тобто пізніше за 780 тис. років тому.

Ключові слова: розріз Бояничі, розріз Коршів, границя Матуяма-Брюнес, палеомагнітний метод, плейстоцен, лесово-ґрунтова товща.

Вступ. Однією із сучасних геологічних проблем є розбіжності в кореляції четвертинних відкладів Центральної та Східної Європи, зокрема, України. Актуальність пов'язана з неоднозначністю стратиграфічного розчленування середнього плейстоцену, що зумовлено різницею в потужності реперних горизонтів і різкими змінами умов седиментації (чи її повної відсутності в окремі проміжки часу). Більше того, існують суперечності у кореляції плейстоценових відкладів навіть у межах відносно невеликих провінцій. Більшість континентальних плейстоценових товщ України фауністично німі, що суттєво ускладнює з'ясування їхніх стратиграфічних взаємовідношень.

У зв'язку з цим, великий інтерес становлять результати палеомагнітних досліджень лесово-ґрунтових товщ. Протягом геологічної історії магнітне поле Землі багаторазово змінювало свою полярність. Інверсії геомагнітного поля фіксуються в магнітній "пам'яті" гірських порід орієнтацією векторів їхньої природної залишкової намагніченості, яка синхронна часу утворення відповідних товщ геологічного розрізу [2].

У цій роботі наведено нові результати палеомагнітних і петромагнітних досліджень плейстоценових розрізів Бояничі (50°29'26" пн. ш. і 24°10'19" сх. д., поблизу села Бояничі Сокальського району Львівської області) і Коршів (50°39'44" пн. ш. і 25°07'40" сх. д., поблизу села Коршів Луцького району Волинської області). Розрізи розташовані на північному заході України у Західноукраїнській геоморфологічній провінції у межах Волинської височини – підобласті Волино-Подільської височини. У геоструктурному відношенні Волинська височина є частиною Східноєвропейської платформи, ускладненої Львівським палеозойським прогином.

Волинська лесова височина – класичний район розповсюдження лесів, які утворюють тут майже суцільний покрив (за винятком річкових заплав і крутих схилів Мізоцької та Повчанської височин) загальною потужністю до 25 м і більше. За даними щодо Волинської височини побудовано практично усі стратиграфічні моделі лесово-ґрунтової серії Волино-Поділля, схеми розвитку палеокріогенезу у плейстоцені тощо [3]. Тут знаходяться стратотипи більшості виділених стратиграфічних горизонтів, підгоризонтів, етапів кріогенезу, у тому чис-

лі, й розріз Коршів – стратотип коршівського викопного ґрунтового комплексу.

Відносно оцінки віку розрізів Волинської височини, попередні палеомагнітні й петромагнітні дослідження показали їх приналежність до епохи прямої полярності Брюнес [15-16], тобто їхній вік молодший від 780 тис. р. У петромагнітному відношенні особливістю цієї області є відносно великий вміст гематиту у похованих ґрунтах [12; 15], який вважається основним носієм природної залишкової намагніченості.

Літостратиграфічна характеристика. Потужність розрізів Бояничі і Коршів складає 18,0 м і 15,9 м відповідно, літологічну й стратиграфічну характеристику наведено у табл. 1 і 2.

Методика. Для палеомагнітних досліджень у розрізі Бояничі було відібрано 148 орієнтованих штуфів, у розрізі Коршів – 78, з яких виготовлено зразки-моноліти стандартної кубічної форми із ребром 20 мм: 489 зразків для розрізу Бояничі (у середньому, один зразок на кожні 3,3 см за глибиною) і 304 зразки для розрізу Коршів (один зразок на кожні 4,9 см).

Вимірювання магнітних параметрів зразків виконувались на магнітометричній апаратурі Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Вимірювання залишкової намагніченості здійснювалося на астатичному магнітометрі LAM-22 і на спін-магнітометрі JR-6. Для виключення ефекту підмагнічування, останній був розміщений всередині немагнітної кімнати MMLFC. Зразки піддавалися стандартній процедурі магнітної "чистки" – поступовому терморозмагнічуванню в установці MMTD80, також розміщеній у немагнітній кімнаті, а зразки-дублі – розмагнічуванню ступінчастим магнітним полем на установці LDA-3A. Магнітна сприйнятливість і параметри анізотропії магнітної сприйнятливості вимірювались на містку змінного струму MFK-1. Виділення напрямків характеристичної компоненти намагніченості (ChRM) після магнітної "чистки" пілотної колекції зразків проводилося у програмі Remasoft 3.0, розрахунки компонентів виконувалися окремо для кожного зразка за методом найменших квадратів. Масова магнітна "чистка" всіх зразків виконувалася при одному нагріві до температури 210°C або у змінному полі 20 мТл.

Таблиця 1

Літологія і стратиграфічні підгоризонти розрізу Бояничі

Глибина, м	Літологія, регіональна стратиграфія
до 0,1	Насипний ґрунт (викиди кар'єру). Суміш <i>лесу</i> і <i>супісків</i> гумусного шару сучасного ґрунту.
0,1-1,25	Нижня частина гумусного горизонту сучасного ґрунту. <i>Супіски</i> .
1,25-1,80	Горизонт В сучасного ґрунту. Складений переважно <i>супісками</i> , місцями <i>суглинками</i> .
1,8-2,0	Материнська порода сучасного ґрунтоутворення. <i>Леси</i> .
2,0-3,0	Красилівський підгоризонт (похований діяльний шар). <i>Супіщаний</i> . У <i>суглинках</i> велика кількість залізо-манганових утворень.
3,0-3,6	<i>Лес</i> (надрівненський) найбільш типовий, із залізо-мангановими новоутвореннями.
3,6-4,1	Рівненський підгоризонт. Складений <i>супісками</i> .
4,1-5,4	<i>Лес</i> підрівненський, із залізо-мангановими новоутвореннями.
5,4-5,9	Підгоризонт наддубнівської соліфлюкції. <i>Супіщаний</i> , місцями <i>суглинистий</i> . У шарі чимало залізо-манганових новоутворень.
5,9-6,7	Дубнівський виковний ґрунт. <i>Суглинистий</i> , містить залізо-манганові новоутворення.
6,7-7,6	Піддубнівський <i>лес</i> (нижній горизонт верхньоплейстоценових лесів). <i>Суглинистий</i> . Нижню частину горизонту можна розглядати як надгорохівську соліфлюкційну пачку.
7,6-9,2	Горохівський виковний ґрунтовий комплекс. Має добре диференційований профіль. Горизонт А ₁ має потужність 0,6 м, <i>суглинистий</i> . Горизонт В має розкрити потужність близько 1,0 м.
9,2-10,9	<i>Лес</i> карбонатний. У верхніх 1,0-1,2 м більш однорідний, <i>супіщаний</i> , з патьоками бурого озалізнення і чорного оманганування.
10,9-11,5	Надтернопільська соліфлюкційна пачка. Вона двокомпонентна. Тут представлені описані вище <i>леси</i> , дуже збагачені залізо-мангановими новоутвореннями, а також <i>суглинки</i> , ближчі за морфологією до гумусного горизонту тернопільського ґрунту. Вони також карбонатні, з великою кількістю залізо-манганових новоутворень.
11,5-11,9	Тернопільський підгоризонт. У даному розрізі є усі підстави розглядати його як тернопільський ґрунт з добре розвиненим генетичним профілем. Гумусний горизонт <i>суглинистий</i> , карбонатний, з великою кількістю залізо-манганових новоутворень діаметром до 1 см. Горизонт В потужністю 0,2 м уже <i>супіщаний</i> , також з великою кількістю залізо-манганових конкрецій.
11,9-12,5	<i>Супіски</i> карбонатні, озалізені, із великою кількістю залізо-манганових новоутворень.
12,5-12,9	Надкоршівська соліфлюкційна пачка, складена описаними вище <i>лесами</i> , а також лінзами, гривами <i>суглинок</i> коршівського гумусного горизонту.
12,9-15,2	Коршівський виковний ґрунтовий комплекс, западинний варіант. ґрунт другої фази (верхній). А ₁ – гумусний горизонт, потужністю 0,5 м. <i>Легкосуглинистий</i> , безкарбонатний. Є також чорні залізо-манганові новоутворення. А ₂ (елювіальний горизонт) – <i>супіщаний</i> . Горизонт В потужністю 0,5 м, <i>супіщаний</i> , з великою кількістю чорних залізо-манганових новоутворень.
15,2-15,6	Гумусний (А ₁) горизонт ґрунту першої фази коршівського ґрунтоутворення, <i>суглинистий</i> .
15,6-16,3	Горизонт В ґрунту першої фази коршева, <i>суглинистий</i> , є залізо-манганові новоутворення.
16,3-17,5	Підкоршівський <i>лес</i> , відмитий від карбонатів.
17,5-18,0	<i>Суглинки</i> луцького ґрунту.

Таблиця 2

Літологія і стратиграфічні підгоризонти розрізу Коршів

Глибина, м	Літологія, регіональна стратиграфія
0-0,2	Антропогенні нагромадження, перевідкладений сучасний ґрунт, <i>супіщаний</i> .
0,2-1,2	Красилівський підгоризонт, <i>супіщаний</i> .
1,2-2,6	<i>Леси</i> карбонатні, з великою кількістю залізо-манганових утворень.
2,6-3,3	<i>Супіски</i> . Залізо-манганові новоутворення. Можливо, рівненський підгоризонт.
3,3-5,1	<i>Леси</i> озалізені, оглеєні, карбонатні.
5,1-6,9	Пачка <i>супіщана</i> , здебільшого карбонатна, дуже озалізнена й оглеєна. Не виключено, що охоплює дубнівський ґрунт, частково наддубнівську соліфлюкцію і <i>лес</i> 4 стадії.
6,9-7,9	Горохівський виковний ґрунтовий комплекс. Гумусний горизонт розкрито повністю, горизонт В лише 10 см. Складений гумусний горизонт <i>супісками</i> . Горизонт В горохова: <i>супіски</i> безкарбонатні.
8,4-8,8	<i>Піщана</i> пачка. <i>Піски</i> різнозернисті, переважно горизонтально-верстуваті, що підкреслено озалізненням і омангануванням.
8,8-9,4	Тернопільський підгоризонт, <i>суглинистий</i> , дуже оглеєний, карбонатний, із залізо-мангановими новоутвореннями.
9,4-10,4	1 м надкоршівських <i>суглинок</i> , нижня частина яких містить гриви <i>суглинок</i> горизонту А ₁ другої фази коршева. Порооди карбонатні, дуже озалізені й оглеєні. У нижній частині – гриви горизонту А ₁ другої фази коршева, є підстави вважати, що нижня частина описаних <i>суглинок</i> до 0,4-0,5 м може розглядатись як надкоршівська соліфлюкційна пачка.
10,4-12,9	Коршівський виковний ґрунтовий комплекс, виражений у вигляді двох автоморфних ґрунтів. ґрунт другої фази – потужність 1,5 м. Гумусний горизонт – 0,9, горизонт В – 0,6 м.
12,9-13,3	Горизонт соліфлюкції. <i>Суглинки</i> , очевидно, із А ₁ луцького ґрунту.
13,3-14	Луцький ґрунт, горизонт В. <i>Суглинки</i> безкарбонатні, з великою кількістю залізо-манганових новоутворень.
14,0-14,7	<i>Суглинки</i> , відмиті від карбонатів, дуже оглеєні, іноді це <i>супіски</i> лесового вигляду. По усьому шару залізо-манганові новоутворення.
14,7-15,9	Карбонатні <i>супіски</i> . Характерною ознакою шару є наявність трубчастих структур, нахилених по давньому рельєфу. Вони складаються з великої кількості смуг бурого озалізнення і глею (чимось нагадує гігантське кільце Лізеганга). У шарі численні чорні залізо-манганові конкреції до 2 мм, швидше за все, це варіант сокальського ґрунту.

Результати петромагнітних досліджень. Середні значення магнітних параметрів, отриманих на обох

розрізах, наведено у табл. 3. Їхня зміна з глибиною показана на рис. 1, 2, 4, 5, 7.

Таблиця 3

Вимірювані магнітні властивості та їхні середні значення у розрізах

Величина	Символ	Одиниці вимірювання	Середні значення по розрізах	
			Бояничі	Коршів
Природна залишкова намагніченість (NRM)	J_n	мА/м	8,98	6,19
Магнітна сприйнятливість (MS)	k	$\cdot 10^{-6}$ од. CI	193	165
Фактор Кенігсберга, $Q=J_n/(kH_T)$	Q		1,09	0,94
NRM, схилення	D	град.	356	351
NRM, нахилення	I	град.	63	65
Коефіцієнт анізотропії, показник міри магнітної лінійності	L		1,006	1,005
Коефіцієнт анізотропії, відображає ступінь плоскопаралельної орієнтації магнітних мінералів	F		1,019	1,013
Ступінь анізотропії, інтегральний індикатор впорядкованості магнітних мінералів	P		1,025	1,018
Параметр форми	T		0,501	0,353

Породи розрізу Бояничі мають вищі величини магнітних параметрів, ніж у розрізі Коршів: середня величина J_n більша на 45%, k – на 17%, фактор Q – на 16%. Магнітне схилення й нахилення вектора NRM дорівнюють 356 і 63 градуси в Бояничих та 351 і 65 градусів у Коршеві, що близько до сучасного напрямку магнітного поля регіону (магнітна широта 67,5 град.).

За аномально високими значеннями k у розрізі Бояничі виділено 6 шарів (рис. 1):

- 1) лес підрівненський, підвищеної вологості, озалізнений;
- 2) і 3) горохівський викопний ґрунтовий комплекс;
- 4) і 5) супіщаний В, гумусний суглинистий A_1 горизонти коршівського викопного комплексу;

6) нижній горизонт середньоплейстоценових лесів.

Магнітна сприйнятливість змінюється у межах від 100 до $400 \cdot 10^{-6}$ од. CI, природна залишкова намагніченість – від 1 до 35 мА/м.

У розрізі Коршів можна виділити 5 зон із підвищеними значеннями k (рис. 2):

- 1) лес надрівненський;
- 2) і 3) коршівський викопний ґрунтовий комплекс;
- 4) і 5) луцький горизонт.

Магнітна сприйнятливість варіює від 100 до $400 \cdot 10^{-6}$ од. CI, природна залишкова намагніченість – від 1 до 25 мА/м.

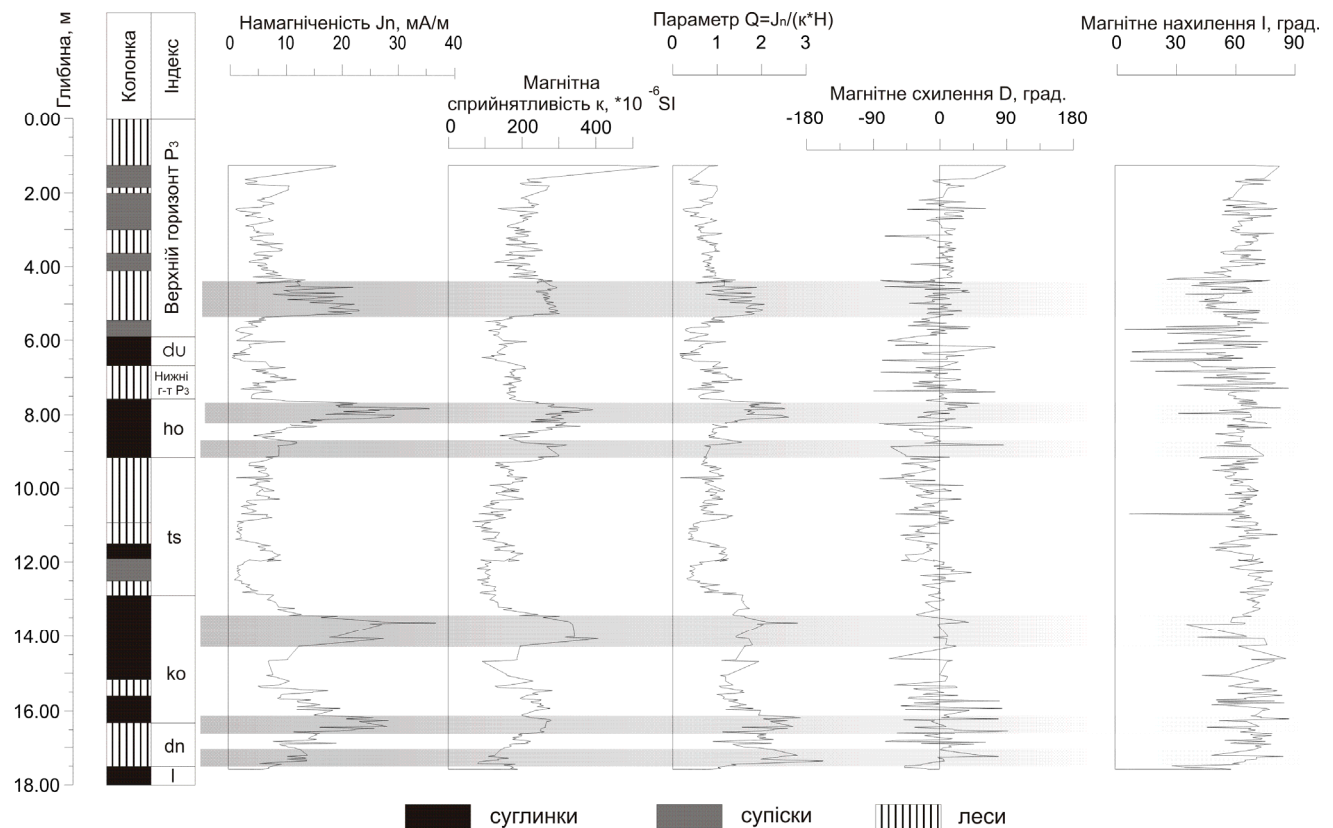


Рис. 1. Магнітні характеристики відкладів розрізу Бояничі

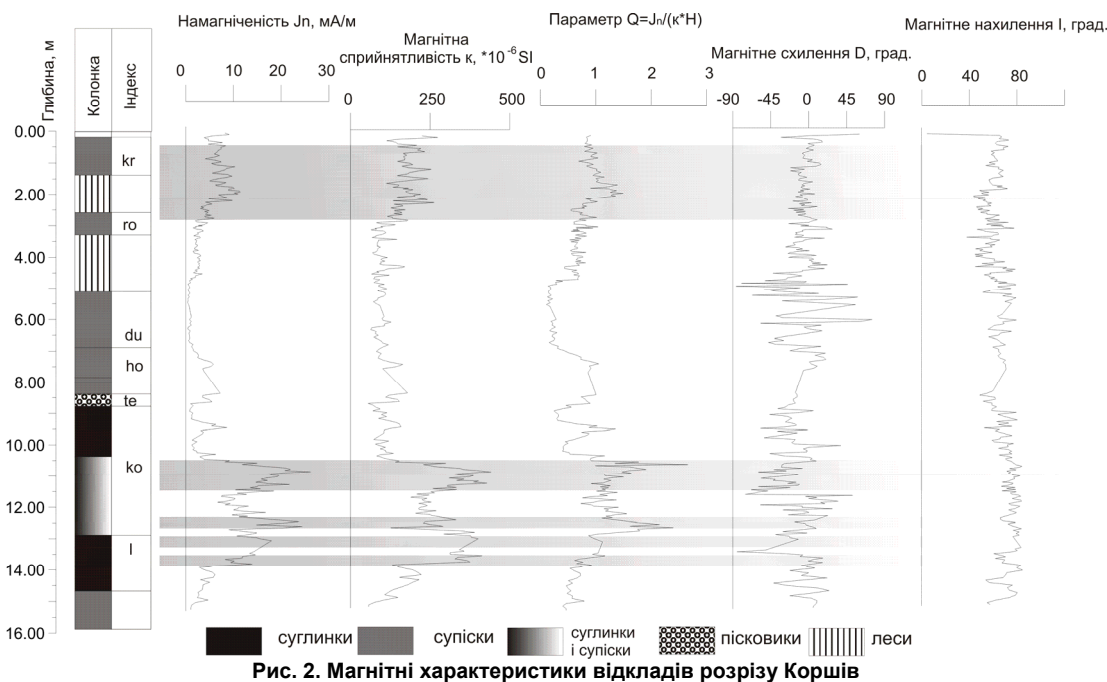


Рис. 2. Магнітні характеристики відкладів розрізу Коршів

Як бачимо з графіків, зміни петромагнітних характеристик з глибиною у цілому не корелюють з літологією розрізу: як лесові товщі, так і викопні ґрунти характеризуються і підвищеними, і зниженими значеннями магнітної сприйнятливості.

Магнітні властивості лесово-ґрунтових відкладів залежать від складу, кількості та розмірів зерен магнітних мінералів. При невеликих концентраціях феромагнітних мінералів істотний внесок у магнітні властивості лесів і палеоґрунтів вносять парамагнітні мінерали. Наприклад, у відкладах китайського лесового плато для верхніх горизонтів палеоґрунтів характерне підвищення магнітної сприйнятливості (в середньому, у 3-4 рази) порівняно з лесовими товщами. Це пояснюється утворенням аутигенних тонкозернистих магнітних мінералів, в основному, магнетиту і маггеміту, з розмірами зерен 0,001-0,5 мкм (суперпарамагнітних і однодомених) у результаті інтенсивного педогенезу [10].

Така картина зміни двох типів магнітної сприйнятливості характерна для лесово-ґрунтових товщ китайського типу і є відображенням "китайського", або "педогенного", механізму запису палеокліматичного сигналу в магнітних властивостях четвертинних відкладів. Крім китайського лесового плато, характер зміни магнітної сприйнятливості, який пов'язують з реєстрацією коливань клімату, поширений у європейських [8], середньоазійських [13] і африканських лесово-ґрунтових товщах.

На відміну від китайського типу, в лесово-ґрунтових серіях Аляски виявлено підвищені значення магнітної сприйнятливості в лесових товщах і знижені у 2-4 рази у викопних ґрунтах [17]. Подібна поведінка магнітної сприйнятливості пояснюється інтенсивною діяльністю вітру в холодні й сухі періоди, що привносить велику кількість теригенних магнітних мінералів у складі вивітрілого уламкового матеріалу, з якого утворюються лесові товщі. Такий характер змін магнітних параметрів, названий "алаською", або "вітровою", моделлю, зустрічається, крім Аляски, у внутрішньоконтинентальних лесах Північної Америки [9] та Сибіру [6-7; 11].

Також відомі лесово-ґрунтові товщі, які за змінами магнітних властивостей не можна віднести ані до "аласького", ані до "китайського" типу. Зміни петромагнітних характеристик з глибиною в цьому випадку не відображають літологію розрізу: як лесові товщі, так і вико-

пні ґрунти характеризуються і підвищеними, і зниженими значеннями магнітної сприйнятливості (та деяких інших магнітних параметрів). До такого типу, з відсутністю закономірностей у змінах магнітних властивостей, відносять відклади Польщі, Західної України [12; 15], Аргентини [5], Пакистану [4, 15-16].

Таким чином, розрізи Бояничі й Коршів за характером змін магнітної сприйнятливості не можна віднести ані до "аласького", ані до "китайського" типу. Більше того, при спробі корелювати ці відносно близько розташовані розрізи за магнітними властивостями стає очевидним, що їх співставлення неоднозначне.

Цікаві результати отримано під час досліджень магнітної текстури відкладів за результатами вимірів анізотропії магнітної сприйнятливості (AMS), яка відображає ступінь орієнтації магнітних зерен в осадових породах [14]. До виникнення магнітної анізотропії гірських порід приводить багато геологічних процесів, у тому числі, в осадових породах: захоронення та літифікація відкладів, придонні течії, направлений рух пролювіальних і делювіальних мас з гір або вздовж схилу. Останнє характерно для аридних і семіаридних кліматичних ситуацій, де діяльність тимчасових водних потоків найбільше сприяє розвитку процесів площинного й схилового змиву. Найбільш наочно AMS може бути представлена в термінах еліпсоїда AMS, максимальна, мінімальна і середня осі якого відповідають значенням магнітної сприйнятливості уздовж кожної осі. Співвідношення осей еліпсоїда AMS характеризує його форму і ступінь анізотропії [14].

Крім того, магнітна текстура осадових порід дає інформацію про умови седиментації, ступінь збереження первинної структури відкладів та інтенсивність переробки відкладів вторинними постседиментаційними процесами.

Досліджувані відклади за ступенем анізотропії (параметр P) можна віднести до слабо анізотропних: як для лесів, так і для ґрунтів параметр P у середньому дорівнює 1,03 (діапазон змін від майже ізотропних 1,005 до 1,05). Але при детальному аналізі проявляються деякі закономірності. На рис. 3 наведено напрямки максимальної та мінімальної осей еліпсоїдів анізотропії магнітної сприйнятливості окремо для зразків з лесів та ґрунтів розрізу Бояничі. У лесах ступінь анізотропії P дещо вищий, ніж у ґрунтах, у всіх зразках відзначається

площинний тип анізотропії, у більшості зразків мінімальні осі еліпсоїдів AMS близькі до вертикалі. У той же час, деякі зразки ґрунтів мають лінійний тип анізотропії і мінімальні осі еліпсоїдів AMS у більшості зразків також

близькі до вертикалі. Напрямки максимальних осей еліпсоїдів AMS мають тенденцію до групування у північних-південних румбах і у лесах така тенденція більш виражена, ніж у ґрунтах.

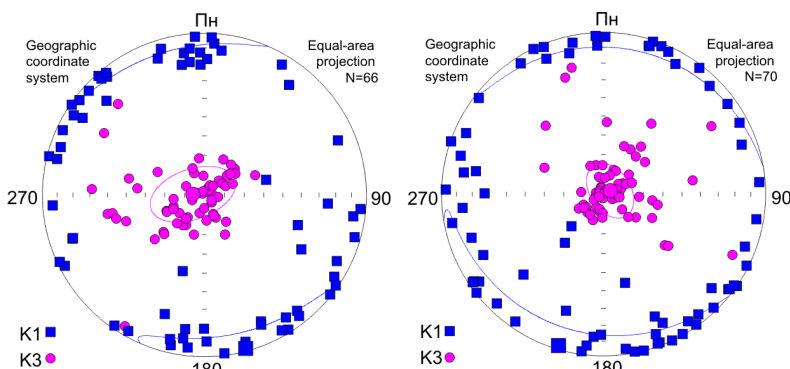


Рис. 3. Проекція напрямків осей $K1$ і $K3$ еліпсоїдів анізотропії магнітної сприйнятливості лесів (ліворуч) та ґрунтів (праворуч) з розрізу Бояничі

При співставленні параметрів AMS (параметр лінійної текстури $L = K1/K2$, параметр площинної текстури $F = K2/K3$, ступінь анізотропії $P = K1/K3$, параметр форми еліпсоїда $T = ((2(\ln K2 - \ln K3))/(\ln K1 - \ln K3)) - 1$) з літологією спостерігається зв'язок між варіаціями параметрів залежно від літології шарів. У розрізі Бояничі (рис. 4) для лесів характерні підвищені значення параметрів F і P . Це вказує на перевагу площинного типу анізотропії й може свідчити про частковий вплив палеовітрів, близьких до меридіональних напрямків, у той час, як на магнітну текстуру ґрунтів впливали педогенні або інші процеси, наприклад, зволоження-висихання, сезонне промерзання-відтанення, біо- і кріотурбації. У розрізі Коршів (рис. 5) спостерігається така сама закономірність: підвищені значення коефіцієнтів F і P мають надрівненські леса.

Таким чином, слабо анізотропні у магнітному відношенні відклади більш тяжіють до слабкої "китайської" моделі формування магнітних властивостей субаеральних відкладів. Магнітна текстура деяких зразків, без закономірної належності до стратиграфічних горизонтів, порушена вторинними процесами; відхилення мінімальних осей еліпсоїдів AMS від вертикального напрямку свідчить про ймовірність часткової переробки відкладів

педогенними процесами, а розподіл максимальних осей умовно може бути пов'язаний з напрямком палеовітрів, близьким до меридіонального. У той же час, незважаючи на низький ступінь анізотропії, лесово-ґрунтові відклади переважно зберігають первинну осадову магнітну текстуру, що є важливим критерієм їх залучення для отримання палеомагнітної інформації.

Результати палеомагнітних досліджень. Детальне поступове розмагнічування пілотної колекції зразків змінним магнітним полем при 12-15 ступенях до максимальних значень поля 100 мТл показало, що у зразках розрізу Коршів присутня "магнітожорстка" складова, яка складає від 10 до 40% початкової NRM при розмагнічуванні у полі 100 мТл, а при розмагнічуванні температурою 240°C залишається від 40 до 70% початкової NRM. При цьому спостерігається зменшення магнітної сприйнятливості у середньому на 26%. Слід відмітити, що серія нагрівів проводилася при температурах 150°, 180°, 210°, 240°, 270° і 300°C, але вже при 270°C частина зразків розсипалася, що унеможливило виконання повної процедури ступеневого терморозмагнічування до температури Кюрі.

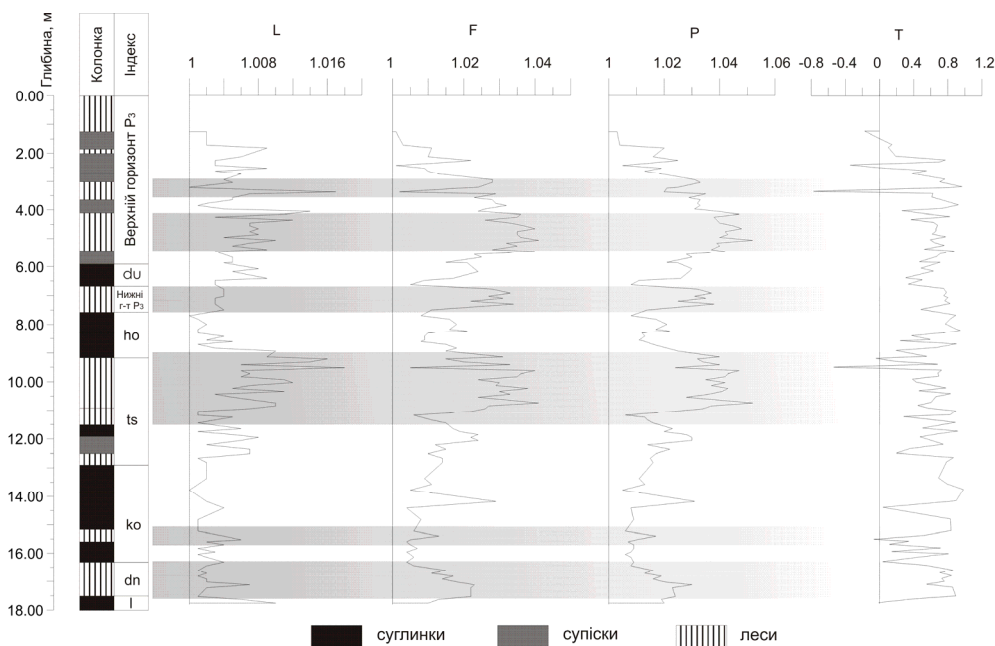


Рис. 4. Параметри анізотропії магнітної сприйнятливості розрізу Бояничі

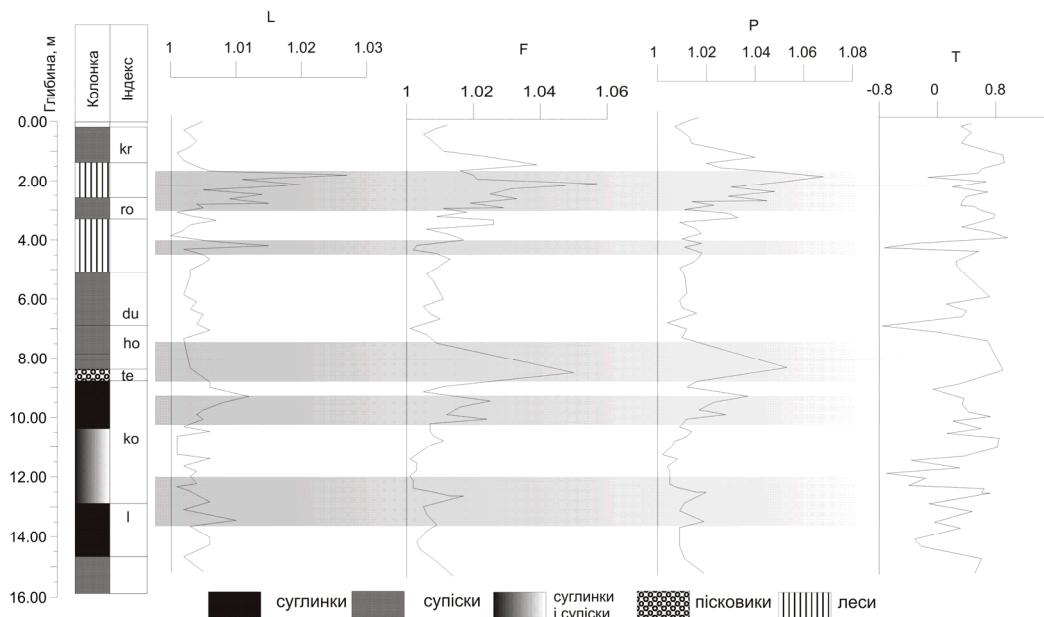


Рис. 5. Параметри анізотропії магнітної сприйнятливості розрізу Коршів

Аналогічну картину ми спостерігаємо при розмагнічуванні зразків з розрізу Бояничі. На рис. 6 наведено результати розмагнічування типових зразків ґрунтів і лесів. Показано стереографічні проекції зміни напрямку вектора залишкової намагніченості в процесі розмагні-

чування змінним магнітним полем і температурою, нормовані криві розмагнічування NRM (J/J_{max}), діаграми Зйдервельда. Цифрами позначено номери зразків і глибину відбору.

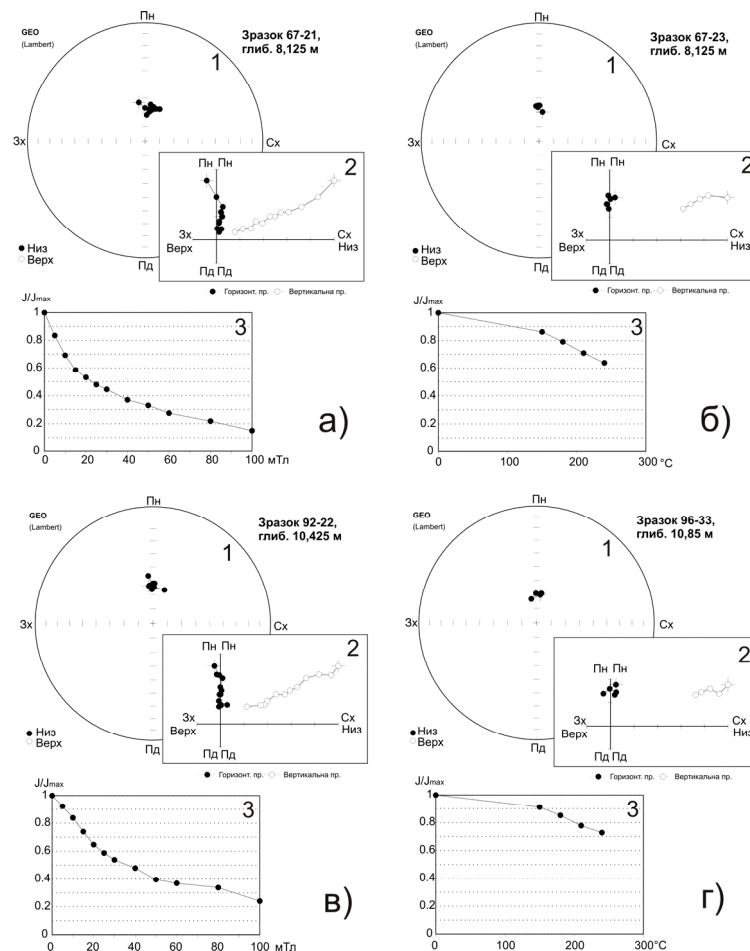


Рис. 6. Приклади ступінчастого розмагнічування магнітним полем (а, в) і температурою (б, г) типових зразків з розрізу Бояничі:

а, б – суглинки горохівського викопного ґрунтового комплексу; в, г – нижчезалегаючі карбонатні ліси (в, г);
1 – стереографічні проекції зміни напрямку вектора залишкової намагніченості у процесі розмагнічування, пусті (повні) круги – проекції векторів на верхню (нижню) півсферу у проекції Ламберта; 2 – діаграми Зйдервельда (повні і пусті круги – проекції відповідно на горизонтальну і вертикальну площину); 3 – нормовані криві розмагнічування NRM (J/J_{max})

Як бачимо, характер кривих розмагнічування зразків принципово відрізняється від аналогічних результатів, отриманих для лесово-ґрунтових товщ північного Причорномор'я (розріз Роксолани), де для розмагнічування зразків ґрунтів і лесів, відповідно до 5% і 10-15% від початкової NRM, досить було застосовувати поля 10-20 мТл або температуру 210°C [1]. У таких "магнітом'яких" зразках основним носієм NRM є магнетит (і, ймовірно, маггеміт) як аутигенного, так і алотигенного походження. У нашому випадку, на розрізах Бояничі та Коршів носієм висококоерцитивної компоненти намагніченості є "магнітожорсткий" мінерал, властивості якого подібні до магнітних властивостей гематиту. Але при розмагнічуванні зразків змінним магнітним полем 20-30 мТл NRM зменшується наполовину, що свідчить про присутність у зразках і деякої кількості "магнітом'якого" мінералу (імовірно, магнетиту). Також є зразки в нижній частині розрізу (підкоршівський лес і вищезалягаючий коршівський ґрунтовий горизонт), де після розмагнічування низькокоерцитивної компоненти у полях 10-15 мТл при подальшому розмагнічуванні до поля 100 мТл залишається 70-80% NRM (а при температурах 240°C залишається до 70-80% NRM), тобто у них абсо-

лютна перевага гематиту (або близького до нього "магнітожорсткого" мінералу).

Таким чином, оцінка палеомагнітної стабільності порід, враховуючи результати AMS, не дає суттєвої переваги лесам відносно ґрунтів при виділенні ChRM-компоненти намагніченості, як це було виявлено під час досліджень Північного Причорномор'я [1]. Крім того, обумовленість ChRM присутністю у породі "магнітожорсткого" мінералу на зразок гематиту не дозволяє повністю розмагнічувати зразки змінним магнітним полем, а термочистка обмежена температурою 240°C.

З урахуванням цього, масова магнітна "чистка" зразків виконувалась при одноразовому нагріві до температури 210°C, а зразків-дублів – у змінному магнітному полі 20 мТл, результати по розрізу Бояничі наведено на рис. 7. Як бачимо, вектор залишкової намагніченості всіх зразків на всіх рівнях має пряму полярність. У відкладах дубнівського й піддубнівського горизонтів верхнього плейстоцену простежується зменшення нахилення I_0 , у деяких зразках до 30-20°, але у схиленні це тяжіння до зворотної полярності не проявляється. Така ж картина спостерігається й за результатами розмагнічування зразків розрізу Коршів: жоден зразок після магнітних чисток не показав зворотної полярності.

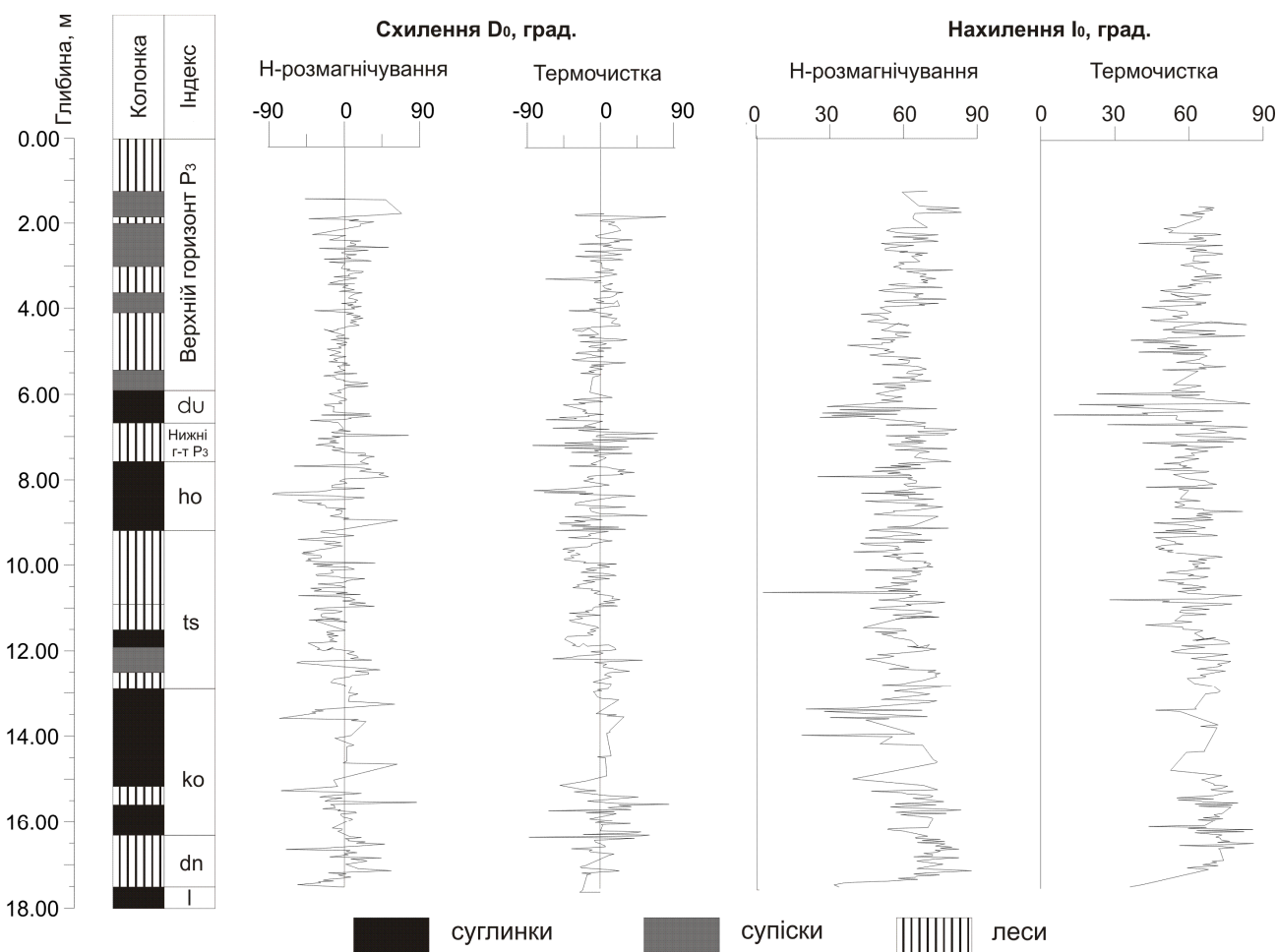


Рис. 7. Напрямки характеристичної компоненти намагніченості, отримані для зразків з розрізу Бояничі у результаті магнітних "чисток" магнітним полем $H = 20$ мТл і температурою 210°C

Можна впевнено говорити про приналежність ґрунтово-лесових товщ, які відслонюються у розрізах Бояничі та Коршів, до епохи прямої полярності Брюнес. Оскільки по розрізах не виділено рівнів з короткочасною оберненою полярністю (екскурсів), а границя Матуяма-Брюнес (враховуючи й дані стратиграфії) залягає

нижче підосви розрізів, виконати їх магнітостратиграфічну прив'язку до ґрунтово-лесових товщ сусідніх регіонів (або у глобальному масштабі) проблематично.

Висновки. Отже, за результатами досліджень магнітних властивостей плейстоценових відкладів Волинської височини можна зробити такі висновки:

1. Зміни природної залишкової намагніченості та магнітної сприйнятливості за глибиною не корелюють з літологією розрізів, тому лесово-ґрунтову товщу Волинської височини не можна віднести ані до "аляскінського", ані до "китайського" типу;

2. Незважаючи на слабку анізотропію магнітної сприйнятливості, особливо в похованих ґрунтах, лесово-ґрунтові відклади переважно зберігають первинну осадову магнітну текстуру;

3. У розрізах Бояничі та Коршів носієм висококоерцитивної компоненти намагніченості є "магнітожорсткий" мінерал – імовірно, гематит;

4. Границю Матуюма-Брюнес у нижній частині обох розрізів прогнозовано не виявлено, а короточасові епізоди, або екскурси, оберненої полярності відсутні, що не дозволяє виконати магніостратиграфічну кореляцію з іншими розрізами.

Список використаної літератури

- Бахмутов В. Новые данные по границе Матуюма-Брюнес в разрезе Роксоланы / В. Бахмутов, Д. Главацкий // Геологический журнал. – К., 2014. – №2 (347). – С. 73-84.
- Бахмутов В. Магніостратиграфія плейстоцена: сучасний стан, проблеми та перспективи досліджень / В. Бахмутов // Проблеми середньоплейстоценового інтергляціалу : Матер. XIV українсько-польського семінару. – Львів, 2007. – С. 96-108.
- Богущий А. Волинська височина: головні риси геологічної будови та рельєфу / А. Богущий, Б. Голуб, М. Ланчонт // Проблеми середньоплейстоценового інтергляціалу : Матер. XIV українсько-польського семінару. – Львів, 2007. – С. 6-10.
- Akram H. Rock magnetic properties of the late Pleistocene Loess-Paleosol deposits in Haro River area, Attock basin, Pakistan: Is magnetic susceptibility a proxy measure of paleoclimate? / H. Akram, M. Yoshida, M. Ahmad // *Earth Planets Space*. – 1998. – V. 50. – P. 129-139.
- Bidegain J. A magneto-climatological investigation of Pampean Loess, Argentina / J. Bidegain, M. Evans, J. Velzen // *Geophysical Journal International*. – 2005. – V. 160. – P. 55-62.
- Chlachula J. A magnetic investigation of a Late Quaternary loess/paleosol record in Siberia / J. Chlachula, M. Evans, N. Rutter // *Geophys. J. Int.* – 1998. – V. 132. – P. 128-132.
- Chlachula J. A late Quaternary loess-paleosol record at Kurtak, southern Siberia / J. Chlachula, N. Rutter, M. Evans // *Can. J. Earth Sci.* – 1997. – V. 34. – P. 679-686.
- Forster T. Paleomagnetism of loess deposits from the Tajik depression (central Asia) / T. Forster, F. Heller // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1994. – V. 128. – P. 501-512.
- Hayward R. Variations in loess accumulation rates in the mid-continent, United States, as reflected by magnetic susceptibility / R. Hayward, Th. Lowell // *Geology*. – 1993. – V. 21. – P. 821-824.
- Magnetostratigraphy of Chinese loess-paleosol sequences / Q. Liu, C. Jin, P. Hu et al. // *Earth-Science Reviews*. – 2015. – V. 150. – P. 139-167.
- Matasova G. Magnetic properties and magnetic fabrics of Pleistocene loess/paleosol deposits along west-central Siberian transect and their palaeoclimatic implications / G. Matasova, A. Kazansky // *Magnetic Fabric: Methods and Applications*. Geological Society. – 2004. – V. 238. – P. 145-173.
- Nawrocki J. The magnetic susceptibility record in the Polish and western Ukrainian loess-paleosol sequences conditioned by palaeoclimate / J. Nawrocki, A. Bogucki, A. Wojcik // *Boreas*. – 1996. – V. 25. – P. 161-169.
- Stacked 2.6-Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep sea $\delta^{18}\text{O}$ record / Z. Ding, E. Derbyshire, S. Yang et al. // *Paleoceanography*. – 2002. – V. 17 (3). – P. 5-1-5-21.
- Tarling D. The magnetic anisotropy of rocks / D. Tarling, E. Hrouda. – London: Publ. by Chapman and Hall., 1993. – 217 p.
- The Matuyama-Brunhes boundary and the nature of magnetic remanence acquisition in the loess-paleosol sequences from the western part of the East European Loess province / J. Nawrocki, A. Bogucki, M.

Łanczont, N. Nowaczyk / *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2002. – V. 188. – P. 39-50.

16. The Paleo- and petromagnetic record in the Polish and Ukrainian loess-paleosol sequences / J. Nawrocki, V. Bakhmutov, A. Bogucki, L. Dolecki // *Phys. Chem. Earth (A)*. – 1999. – V. 24. – P. 773-777.

17. The paleoenvironmental-magnetic record of the Gold Hill Steps loess section in central Alaska / P. Vlag, E. Oches, S. Banerjee, P. Solheid // *Phys. Chem. Earth, A*. – 1999. – V. 24. – P. 779-783.

References

- Bakhmutov, V., Hlavatskyi, D. (2014). New data about Matuyama-Brunhes boundary in Roxolany section [Novye dannye po granitse Matuyama-Bryunes v razreze Roksolany]. *Heolohichnyi zhurnal – Geological journal*, 2 (347), 73-84. [In Russian].
- Bakhmutov, V. (2007). Pleistocene magnetostratigraphy: a modern status, problems and long-term researches [Magnitostatigrafiya pleystotsena: sovremennoe sostoyaniye, problem i perspektivy issledovaniy]. Proceedings from Problemy serednyopleystotsenovocho interhlyatsialu [Problems of Middle Pleistocene Interglacial]: *Materialy XIV ukrayinsko-polskoho seminaru – XIV Ukrainian-Polish conference*. (pp. 96-108). Lviv. [In Russian].
- Bogucki, A., Holub, B., Łanczont, M. (2007). Volynian Upland: the main features of geologic structure and relief [Volynska vysochyna: holovni rysy heolohichnoyi budovy ta relyefu]. Proceedings from Problemy serednyopleystotsenovocho interhlyatsialu [Problems of Middle Pleistocene Interglacial]: *Materialy XIV ukrayinsko-polskoho seminaru – XIV Ukrainian-Polish conference*. (pp. 6-10). Lviv. [In Ukrainian].
- Akram, H., Yoshida, M., Ahmad M. (1998). Rock magnetic properties of the late Pleistocene Loess-Paleosol deposits in Haro River area, Attock basin, Pakistan: Is magnetic susceptibility a proxy measure of paleoclimate? *Earth Planets Space*, 50, 129-139.
- Bidegain, J., Evans, M., Velzen, J. (2005). A magneto-climatological investigation of Pampean Loess, Argentina. *Geophysical Journal International*, 160, 55-62.
- Chlachula, J., Evans, M., Rutter, N. (1998). A magnetic investigation of a Late Quaternary loess/paleosol record in Siberia. *Geophys. J. Int.*, 132, 128-132.
- Chlachula, J., Rutter, N., Evans, M. (1997). A late Quaternary loess-paleosol record at Kurtak, southern Siberia. *Can. J. Earth Sci.*, 34, 679-686.
- Forster, T., Heller, F. (1994). Paleomagnetism of loess deposits from the Tajik depression (central Asia). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 128, 501-512.
- Hayward, R. & Lowell, Th. (1993). Variations in loess accumulation rates in the mid-continent, United States, as reflected by magnetic susceptibility. *Geology*, 21, 821-824.
- Liu, Q., Jin, C., Hu, P., Jiang, Z., Ge, K., Roberts, A. (2015). Magnetostratigraphy of Chinese loess-paleosol sequences. *Earth-Science Reviews*, 150, 139-167.
- Matasova, G., Kazansky, A. (2004). Magnetic properties and magnetic fabrics of Pleistocene loess/paleosol deposits along west-central Siberian transect and their palaeoclimatic implications. *Magnetic Fabric: Methods and Applications*. Geological Society, 238, 145-173.
- Nawrocki, J., Bogucki, A., Wojcik, A. (1996). The magnetic susceptibility record in the Polish and western Ukrainian loess-paleosol sequences conditioned by palaeoclimate. *Boreas*, 25, 161-169.
- Ding, Z.L., Derbyshire, E., Yang, S.L., Yu, Z.W., Xiong, S.F., Liu, T. S. (2002). Stacked 2.6-Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep sea $\delta^{18}\text{O}$ record. *Paleoceanography*, 17 (3), 5-1-5-21. DOI:10.1029/2001PA000725.
- Tarling, D.H., Hrouda, E. (1993). The magnetic anisotropy of rocks. London: *Publ. by Chapman and Hall.*, 217 p.
- Nawrocki, J., Bogucki, A., Łanczont, M., Nowaczyk, N. (2002). The Matuyama-Brunhes boundary and the nature of magnetic remanence acquisition in the loess-paleosol sequences from the western part of the East European Loess province. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 188, 39-50.
- Nawrocki, J., Bakhmutov, V., Bogucki, A., Dolecki, L. (1999). The Paleo- and petromagnetic record in the Polish and Ukrainian loess-paleosol sequences. *Phys. Chem. Earth (A)*, 24, 773-777.
- Vlag, P., Oches, E., Banerjee, S., Solheid, P. (1999). The paleoenvironmental-magnetic record of the Gold Hill Steps loess section in central Alaska. *Phys. Chem. Earth, A*, 24, 779-783.

Надійшло до редколегії 14.03.16

D. Hlavatskyi, Research Associate
E-mail: hlvatskyi@gmail.com;
V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.-Min.)
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com;
Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladina Ave., Kyiv, 03680 Ukraine;
A. Bogucki, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Prof.
E-mail: pleistocene@ukr.net;
P. Voloshyn, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.
E-mail: petro.voloshyn@lnu.edu.ua
Ivan Franko National University of Lviv
41 P. Doroshenka Str., Lviv, 79000 Ukraine

PETROMAGNETISM AND PALAEOMAGNETISM OF SUBAERIAL DEPOSITS OF BOYANYCHI AND KORSHIV SECTIONS (VOLHYNIAN UPLAND)

A petromagnetic and palaeomagnetic research of Boyanychi and Korshiv loess-paleosol sequences (Volhynian Upland) were carried out. The distributions of magnetic parameters along lithostratigraphy column (natural remanent magnetization, magnetic susceptibility, anisotropy of magnetic susceptibility parameters) are presented. Variations of magnetic parameters do not correlate with lithology and cannot be attributed to the "alaskan" or the "chinese" type of subaerial deposits. The rocks are characterized by high stability to alternating magnetic field demagnetization and temperature demagnetization due to the presence of highly coercive magnetic mineral (probably hematite). Both loess and soils have mainly primary sedimentary magnetic texture. The characteristic component of magnetization has only normal polarity and no samples with reverse polarity. In the bottom of the sections the Matuyama-Brunhes boundary was not recognized, that prove the formation of deposits occurred during normal polarity Brunhes zone no later than 780 kyr.

Keywords: Boyanychi section, Korshiv section, Matuyama-Brunhes boundary, palaeomagnetic method, Pleistocene, loess-soil sequence.

Д. Гловацкий, млад. науч. Сотруд.
E-mail: hlvatskyi@gmail.com;
В. Бахмутов, д-р геол.-минералог. наук
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины
пр. Палладина, 32, г. Киев, 03860, Украина;
А. Богущий, канд. геол.-минералог. наук, проф.
E-mail: pleistocene@ukr.net;
П. Волошин, канд. геол.-минералог. наук, доц.
E-mail: petro.voloshyn@lnu.edu.ua
Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. П. Дорошенко, 41, г. Львов, 79000, Украина

ПЕТРОМАГНЕТИЗМ И ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ СУБАЭРАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗОВ БОЯНЫЧИ И КОРШЕВ (ВОЛЫНСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ)

Проведены петромагнитные и палеомагнитные исследования лессово-почвенных разрезов Боянычи и Коршев (Волынская возвышенность). Представлено распределение магнитных параметров вдоль литостратиграфической колонки (естественная остаточная намагниченность, магнитная восприимчивость, параметры анизотропии магнитной восприимчивости). Вариации магнитных параметров не коррелируют с литологией разрезов, поэтому лессово-почвенную толщу Волынской возвышенности нельзя причислить ни к "аласкинскому", ни к "китайскому" типу субаэриальных отложений. Породы характеризуются высокой стабильностью к влиянию переменного магнитного поля и температуры, что обусловлено присутствием высококоэрцитивного магнетита, вероятно, гематита. И в лессах, и в почвах, в основном, сохраняется первичная осадочная магнитная текстура. У выделенной характеристической компоненты намагниченности исключительно прямая полярность, ни в одном уровне не обнаружены экскурсы обратной полярности. Граница Матуяма-Брюнес в нижней части обоих разрезов не установлена, формирование отложений происходило в эпоху прямой полярности Брюнес, т.е. позже, чем 780 тыс. лет тому назад.

Ключевые слова: разрез Боянычи, разрез Коршев, граница Матуяма-Брюнес, палеомагнитный метод, плейстоцен, лессово-почвенная толща.

УДК 550.34.038.4

С. Кравець, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;О. Асташкіна, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.
E-mail: Sac1@ukr.netМ. Махніцький, асп.
E-mail: caponerules@mail.ruКарпатське відділення, Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-6, м. Львів, 79060 Україна

ДИНАМІЧНІ ГЕОТЕМПЕРАТУРНІ ЕФЕКТИ ТА ЛОКАЛЬНА СЕЙСМІЧНІСТЬ ЗАКАРПАТТЯ

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

Метою роботи є розв'язання прогностичної задачі сейсмології шляхом встановлення зв'язків між динамікою геотемпературного поля та геодинамічною активністю сейсмічного походження. Проведено аналіз основних чинників, що визначають величину та варіації термального поля. За результатами аналізу, основним фактором, що може спричинити суттєві аномальні динамічні ефекти в геотемпературному полі при підготовці сейсмічної події, є переміщення підземних термальних вод. Рух флюїдів при наявності гідротермальних джерел у регіоні дослідження у підготовчий період землетрусу відбувається досить швидко (від годин, тижнів до місяця), на відміну від кондуктивної передачі тепла від вогнища землетрусу, що дозволяє використовувати глибинні виміри температури як індикатори сейсмічних явищ.

З метою вибору оптимальної методики вивчення геотемпературного поля досліджено низку факторів, які беруть участь у процесах перерозподілу температурного поля у товщі оточуючих гірських порід на станціях Карпатської сейсмічної мережі. Встановлено мінімально необхідну величину глибини вимірів, на якій термічне поле визначається виключно факторами глибинного генезису й не залежить від поверхневих варіацій. Для здійснення точних метео- та температурних режимних спостережень застосовано автономний цифровий мультиканальний термограф, що забезпечує відносну точність вимірювання температури порядку $0,01^{\circ}\text{C}$.

За результатами аналізу тривалих (протягом року із дискретністю спостережень 30 секунд) геотемпературних спостережень середовища у свердловині на станції Карпатської мережі (РГС Берегове) встановлено вплив вогнища землетрусу (джерела поширення сейсмічних хвиль) на аномальну зміну параметрів теплового поля в часі. Отримано результати про аномальну поведінку температурного поля, спричинену переносом термальних вод під впливом механічних процесів та зміною пластових тисків у області вогнища землетрусу району Вранча. Експериментальний матеріал свідчить про те, що можливі відносно короточасні й значні за величиною зміни теплового поля гірських порід, які викликаються перерозподілом тепла з рухом по каналах джерел підземних вод у період посилення тектонічної активності.

Ключові слова: геодинаміка, сейсмологія, геотемпературне поле, моніторинг.

Вступ. Карпатський регіон є одним з найбільш сейсμοактивних регіонів України. За останні сотні років тут зафіксовано ряд досить сильних місцевих землетрусів з силою струшувань у епіцентральных зонах до 7-8 балів за шкалою МСК-64, які спричиняли значні пошкодження житлових будівель, інженерних споруд і матеріальні збитки. Враховуючи постійний розвиток промисловості, транспортної та інженерної інфраструктури на цій території, рівень сейсмічного та сейсмоекологічного ризику тут є досить значним. Оскільки землетруси є одним з проявів регіональних геодинамічних та сеймотектонічних процесів, то комплексні геофізичні дослідження

таких процесів є актуальним завданням для регіону [10-11]. Розроблені під час проведення досліджень методи, апаратура та результати можуть бути використані для інших сейсμοактивних регіонів України.

Геомоніторингові та сейсмопрогностичні дослідження ведуться у Закарпатті уже впродовж десятиріч. За цей час розроблено ряд нових методів та апаратурних комплексів для таких досліджень, створено мережу режимних геофізичних станцій (РГС) і пунктів спостережень (рис. 1), зареєстровано ряд геофізичних провісників місцевих землетрусів, досліджено деякі характерні риси сеймотектонічного процесу на даній території.



Рис. 1. Розташування пунктів геофізичних спостережень на території Закарпаття

Одним з найважливіших наслідків діючих у регіоні локальних та регіональних геодинамічних процесів, і, одночасно, одним з найкращих індикаторів таких процесів є деформації в масивах гірських порід. Тому вивченню деформацій як у локальному (на певних об'єктах), так і в регіональному (на відповідних територіях) плані здавна приділяється велика увага. Для таких досліджень використовуються різні методи – геодезичні, деформографічні, нахиломірні та ін. Також важливими є дослідження супутніх геофізичних процесів, зокрема, акустичної емісії та температурного режиму масивів гірських порід, вивчення впливу різних метеофакторів. Представлені у роботі результати є подальшим розвитком попередніх досліджень щодо факторів, які пов'язані з процесами перерозподілу температурного поля у товщі оточуючих гірських порід.

Динаміка теплового поля. У низці факторів, які доцільно розглядати як індикатори підготовки землетрусів, зсувів, карсту, суфозії та ін., неодноразово згадувалися геотермічні чинники. Однак, до теперішнього часу ще не запропоновано обґрунтованої програми вивчення динаміки теплового поля з метою прогнозу розвитку цих небезпечних явищ.

Метою роботи є отримання кількісних оцінок аномальної зміни температурного поля під час підготовки й релаксації динамічних ефектів сейсмічного походження та їх взаємозв'язок. Прогрес, досягнутий в останні роки, що виявився у створенні фізичних моделей [3-5, 8, 12], які пояснюють такі ефекти, створив певні перспективи використання геотемпературних вимірів у Закарпатській сейсмічно активній зоні. Основним елементом, що може пояснити тут аномальні теплові ефекти перед землетрусами, є переміщення підземних термальних вод, викликаних або збільшенням об'єму порового простору (при дилатансії), або зміною порового тиску. Переміщення флюїдів неминує має викликати аномалії температури, геотермічного градієнта й теплового потоку в гірських породах під впливом поширення сейсмічних хвиль [10].

Відомо, що теплове поле у верхніх шарах земної кори складається із величини глибинного теплового потоку та зовнішнього перерозподілу метеотемпературних, термодинамічних, геологічних, геохімічних складових і присутності в осадовій товщі гірських порід джерел геотермальних вод. Також відомо, що в області вогнища в період підготовки та реалізації землетрусу температура змінюється в результаті розуцільнення, зміни теплопровідності, вивільнення тепла при терті блоків порід тощо. Внаслідок низької теплопровідності порід ($0,01-0,1^\circ\text{C}/\text{м}$) [11], теплові імпульси поширюються в них дуже повільно. Так, із глибини 3-5 км, де в основному розташовуються вогнища місцевих Закарпатських землетрусів, тепловий імпульс, рівний по величині фоновому тепловому потоку, дійде до поверхні тільки через 5×10^6 років (за умови тільки кондуктивної теплопередачі, швидкість якої становить близько 1 мм за рік). Тому теплові ефекти, пов'язані з підготовкою землетрусу, не виявляються в поверхневому тепловому потоці. Це підтверджується, наприклад, геотермічними дослідженнями вздовж розлому Сан-Андреас у Каліфорнії (Алан Линд, USGS). За період геотемпературних спостережень там не було виявлено змін теплового потоку, які однозначно можна було б пов'язати з інтенсивною тектонічною активністю, характерною для даного регіону. Відомості про регулярні (режимні) спостереження температури гірських порід у сейсмічно активних районах досить незначні. Авторам відомо лише декілька робіт подібного спрямування [1, 10]. Аналізуючи наявні дані, при наявності гідротермальних джерел у регіоні у підготовчий період землетрусу, теплоперенос має відбуватися досить швидко (від годин, тижнів до місяця). Такі

короткострокові зміни температури термальних вод спостерігалися й під час ряду великих землетрусів на Камчатці, під Ташкентом та в Дагестані [2, 7]. Так, під час Дагестанських землетрусів 1981-2001 рр. відзначалися варіації температури в джерелах води на відстанях понад 230 км від епіцентрів. Виходячи з наведених аргументів, авторами був здійснений аналіз даних режимних метеотемпературних спостережень, які проводяться у Закарпатській сейсмічно активній зоні на геофізичній станції РГС Берегово. За даними таких дослідників, як В. Гордієнко, Р. Кутас, В. Осадчий та інші [1, 9-10], у районі Берегівського горбогір'я значно підвищений (до $0,07-0,1^\circ\text{C}/\text{м}$) вертикальний геотемпературний градієнт, особливо, в районі Берегівського горбогір'я, спричинений високим (до $100-120 \text{ мВт}/\text{м}^2$) глибинним тепловим потоком від існуючого під Закарпатським прогином, Паннонією астеноліту [11] та наявністю широкої мережі підземних джерел води.

Результати досліджень. Геотермічний моніторинг на РГС Берегово проводиться нами впродовж кількох років з метою вивчення та врахування метеотемпературних впливів на результати деформографічних та інших режимних геофізичних досліджень, хоча зараз він поступово виходить на такий рівень, коли буде мати також самостійне значення як метод вивчення локальних та субрегіональних геодинамічних процесів.

Наявний у складі комплексу контрольний температурний канал дозволяє досить детально простежити за змінами температури у штольні РГС.

Геофізична станція Берегово [6] розташована поблизу зони глибинного Припанноньського розлому, на південній границі Закарпатського внутрішнього прогину на відстані 50 км від основної сейсмогенеруючої структури Закарпатського прогину Закарпатського глибинного розлому у районі Берегівського горбогір'я.

Важливо встановити взаємозв'язки факторів, які беруть участь у процесах перерозподілу температурного поля, для дослідження впливу температури на об'єм оточуючих порід для компенсації впливу значення температури на геофізичні дослідження. Щоб виробити потрібну методику вимірювань геотермічного градієнта на території Берегівського полігону, в 2007 році було організовано режимні площинні й глибинні спостереження температури. Для здійснення точних метео- і геотемпературних режимних спостережень застосовано автономний цифровий мультіканальний термограф, що забезпечує безперервний автоматичний запис параметрів з кроком 30 секунд протягом 12 місяців і відносну точність вимірювання температури порядку $0,01^\circ\text{C}$.

Також було встановлено давач температури у гирлі свердловини глибиною 35 м. На таких глибинах температура гірської породи, практично, не повинна залежати від коливань температури на поверхні й має не змінюватися протягом багатьох років. Побудований на основі результатів моніторингових спостережень (2012-2013 рр.) графік (рис. 2) показав вплив на зміну температури у товщі породи з глибиною, що спричинюється сезонними коливаннями температури.

На графіках спостерігається поступове загасання зовнішнього впливу зміни метеотемператури на глибинні шари породи. Отримані експериментальні дані підтверджують сталість температурного режиму порід на глибинах понад 30 м, який залишається постійним впродовж багатьох років та знаходиться в межах $12,3-12,4^\circ\text{C}$, але в період збільшення виділення сейсмічної енергії дозволяє фіксувати аномальне підвищення температури, що спричинене сейсмічною активністю та надходженням глибинних термальних вод. Такі аномальні збурення у тепловому полі, як приклад, показано на рис. 3-4.

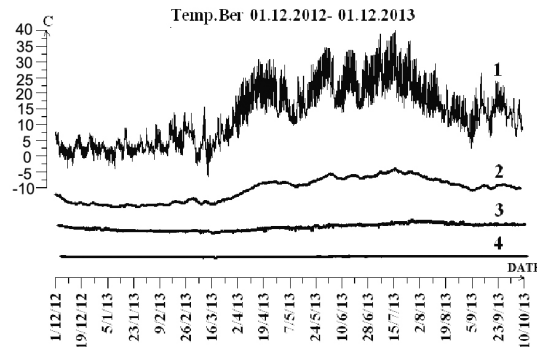


Рис. 2. Зміна температури на РГС Берегово (2012–2013 рр.):

1 – метеотемпература, 2 – температура у ґрунті (глибина вимірювання 0,5 м),
3 – температура у штольні (глибина вимірювання 15 м), 4 – температура у свердловині (глибина вимірювання 35 м)

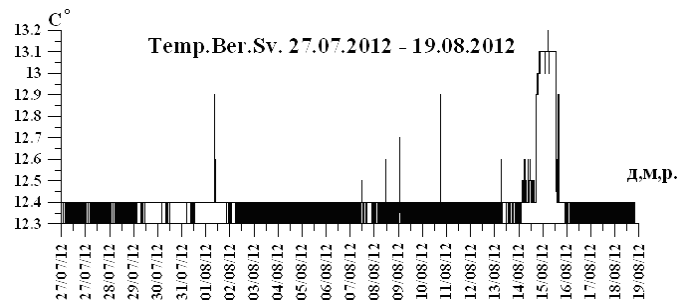


Рис. 3. Аномальне підвищення температури у свердловині РГС Берегово перед повторними поштовхами з 27.07 по 19.08 2012 року. Серія з трьох подій у районі Вранча з глибинами вогнищ (88-113 км)

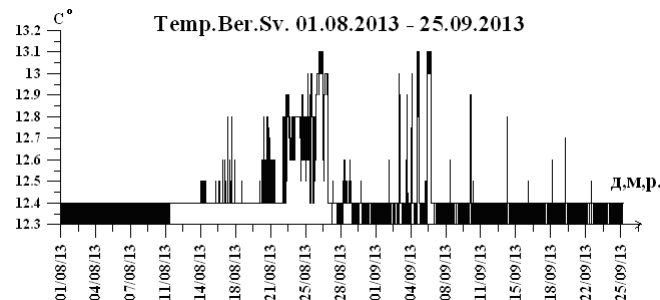


Рис. 4. Аномальне підвищення температури у свердловині РГС Берегово перед повторними поштовхами з 01.08 по 25.09 2013 року. Сейсмічна подія відбулася в районі Вранча 12.08.2013 р., час у вогнищі 22:48:00.0, глибина вогнища 88 км

Висновки. За результатами аналізу тривалих геотемпературних спостережень середовища у свердловині на станції Карпатської мережі (РГС Берегово) встановлено вплив вогнища (джерела поширення сейсмічних хвиль) на аномальну зміну параметрів теплового поля в часі.

Проведено тривалі мультиканальні моніторингові дослідження геотемпературного поля та отримано результати для різнопланового аналізу. Створено банк даних. На підставі аналізу результатів багатоканальних досліджень температурного режиму вимірювальної камери ст. РГС Берегово і навколишнього середовища, виконано відповідні інженерні роботи, що привело до зменшення впливу варіацій температури на геофізичну апаратуру.

Отримано результати про аномальну поведінку температурного поля на глибинах понад 35 м, спричинену переносом термальних вод під впливом механічних процесів та зміною пластових тисків в області вогнища землетрусу району Вранча, експериментальний матеріал свідчить про те, що можливі відносно короткочасні й значні за величиною зміни теплового поля гірських порід, які викликаються перерозподілом тепла з рухом по каналах джерел підземних вод у час посилення тектонічної активності.

Для розвитку методології досліджень і виявлення аномалій у поведінці температурного поля доцільно організувати режимний моніторинг температури та гео-

термічного градієнта на території Закарпатського геодинамічного полігону, зокрема, на геофізичних пунктах спостережень (с. Косино та с. Яноші Берегівського району), відомих гідротермальною активністю у свердловинах на глибинах до 1000 м. На цих глибинах температура гірських порід практично не залежить від коливань температури на поверхні, а може змінюватися тільки під впливом переносу тепла нагрітими водами по підземних каналах при зміні тисків у товщі порід. Саме в цій обстановці теплові ефекти, які пов'язані з переміщенням флюїдів у період підготовки й реалізації землетрусу, можуть бути виявлені найбільш чітко. Для здійснення режимних спостережень необхідно застосовувати автономні термографи, що забезпечують безперервний автоматичний запис параметрів протягом років. Апаратура має забезпечувати точність виміру температури близько 0,001°C.

Список використаних джерел

1. Геотермическая станция ГС-1 / [Аннюк Ф. М., Осадчий В. Г., Филлюс Р. И., Чекалюк Э. Б.] // Приборы для научных исследований и системы автоматизации в АН УССР. – К. : Наук. думка, 1981. – С. 79–80.
2. Добровольский И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения / И. П. Добровольский. – М. : ИФЗ РАН, 1991. – 219 с.
3. Журавчук Л. М. Математичне моделювання нестационарного процесу теплопровідності пригранічними елементами різних типів // Вісник НУ "Львівська політехніка". Сер. Комп'ютерні науки та інформаційні технології, Львів, 2009. – № 638. – С. 124-133.

4. Журавчак Л. М. Нестационарное тепловое поле в неоднородных материалах с нелинейной поведінкою їх компонент / Л. М. Журавчак, Н. В. Забродська // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – № 1. – С. 33-41.
5. Журавчак Л. М. Розпізнавання об'ємних локальних неоднорідностей за нестационарним тепловим полем / Л. М. Журавчак, Н. В. Шуміліна // Доповіді НАН України. – 2005. – № 10. – С. 42-47.
6. Зубков С. И. Времена возникновения предвестников землетрясений / С. И. Зубков // Изв. АН СССР : Физика Земли. – 1987. – № 5. – С. 87-91.
7. Карпатский геодинамический полигон / Под ред. Я. С. Підстригача и А. В. Чекунова. – М.: Сов. радио, 1978. – 127 с.
8. Кейлис-Борок В. И. Повторный сильный толчок землетрясений: прогноз возможен / В. И. Кейлис-Борок // Наука в России. – 1992. – № 1. – С. 60-63.
9. Кутас Р. И. Тепловое поле Украины / Р. И. Кутас, В. В. Гордиенко. – К.: Наук. думка, 1971. – 112 с.
10. Кутас В. В. Природа объемных волн, регистрируемых в Закарпатье при коровых землетрясениях и промышленных взрывах / Кутас В. В., Дрогичская Г. М., Корчагин И. Н. // Геофиз. журн. – 2003. – 25, № 6. – С. 3-14.
11. Чекунов А. В. Эволюция астенолитов и ее геологические следствия / А. В. Чекунов // Докл. АН УССР, сер. Б. – 1988. – № 3. – С. 30-34, 92.
12. Zhuravchak L. Mathematical modeling of non-stationary thermal field in spatial bodies for recognition of homogeneous inclusions / L. Zhuravchak, N. Shumilina // Proceedings of Sixth International Congress on Thermal Stresses, Vienna, 2005. – Vol. 2. – P. 521-524.

References

1. Annyuk, F.M., Osadchii, V.G., Filyus, R.I., Chekalyuk, E.B. (1981). Geotermicheskaya stantsiya GS-1. *Pribory dlya nauchnykh issledovaniy i sistemy avtomatizatsii v AN USSR* (pp. 79-80). Kyiv: Naukova dumka. [In Russian].
2. Dobrovolskiy, I.P. (1991). *Teoriya podgotovki tektonicheskogo zemletryaseniya*. Moscow: IFZ RAN, 219 p. [In Russian].

S. Kravets, Cand. Sci. (Geol.), Research Associate
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;

D. Malytsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;

O. Astashkina, Cand. Sci. (Geol.), Research Associate
E-mail: sac1@ukr.net;

M. Makhnitsky, Postgraduate Student
E-mail: caponerules@mail.ru
Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine
3-b Naukova Str., Lviv, Ukraine 79060

3. Zhuravchak, L.M. (2009). Matematychni modeliuvannya nestatsionarnoho protsesu teploprovodnosti pryhra-nychnymy elementamy ryznykh typiv. *Visnyk NU "Lvivska politehnika". Ser. Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnologii*, 638, 124-133. [In Ukrainian].

4. Zhuravchak, L.M., Zabrodskaya, N.V. (2010). Nestatsionarne teplove pole v neodnorodnykh materialakh z nelineinoyu povedinkoyu yikh komponent. *Fiz.-him. mehanika materialiv*, 1, 33-41. [In Ukrainian].

5. Zhuravchak, L.M., Shumilina, N.V. (2005). Rozpiznavannya ob'iemnykh lokalnykh neodnorodnostei za nestatsionarnym teplovym polem. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine – Dopovidi NAN Ukrainy*, 10, 42-47. [In Ukrainian].

6. Zubkov, S.I. (1987). Vremena vznikhoveniya predvestnikov zemletryaseniya. *Izv. AN SSSR : Fizika Zemli*, 5, 87-91. [In Russian].

7. Pidstrigacha, Ya.S., Chekunova, A. (1978). *Karpatskiy geodinamicheskii poligon*. Moscow: Sov. radio, 127 p. [In Russian].

8. Keylis-Borok, V.I. (1992). Povtorny silny tolchok zemletriaseniya: prognoz vozmozhen. *Nauka v Rossii*, 1, 60-63. [In Russian].

9. Kutas, R.I., Gordienko, V.V. (1971). *Teplovoe pole Ukrainy*. Kyiv: Naukova dumka, 112 p. [In Russian].

10. Kutas, V.V., Drozhitskaya, G.M., Korchagin, I.N. (2003). Priroda obemnykh voln, registruemykh v Zakarpate pri korovykh zemletriaseniakh i promyshlennykh vzryvakh. *Geofiz. zhurn.*, 6, 3-14. [In Russian].

11. Chekunov, A.V. (1988). Evolyutsiya astenolitov i ee geologicheskoe sledstviya. *Dokl. AN USSR, ser. B*, 3, 30-34, 92. [In Russian].

12. Zhuravchak, L., Shumilina, N. (2005). Mathematical modeling of non-stationary thermal field in spatial bodies for recognition of homogeneous inclusions. *Proceedings of Sixth International Congress on Thermal Stresses*. Vienna, 2, 521-524.

Надійшло до редколегії 15.12.15

DYNAMIC GEOTHERMAL EFFECTS AND LOCAL SEISMICITY OF THE TRANSCARPATHIAN REGION

The aim is to obtain quantitative estimates of abnormal variations upon the influence of temperature field tasting and relaxation dynamic effects of seismic origin and their relationship. Regime monitoring of rocks temperature in seismically active areas was performed. Data analysis in the presence of hydrothermal inflows in the region complexed by earthquakes preparations should occur quickly (by hours, weeks to months). These short-term changes in temperature and thermal waters were observed during several strong earthquakes.

A number of factors involved in the processes of redistribution of temperature fields in the surrounding rock stations of Carpathian seismic network were investigated. The relationship factors were important to establish and to offset the impact of temperature on geophysical surveys. We produced the desired method of measuring the geothermal gradient in the territory of the Base. To make accurate meteorological observations and temperature regime we applied multi-channel stand-alone digital thermograph that provides relative accuracy of temperature measurement order of 0.01°C. The analysis of long-term observations for geothermal environment in the well at the station of Carpathian Network (CSG Coast) were established. We studied the impact of inflow (source of seismic waves) for modification of the abnormal thermal field in time. The results of the anomalous behavior of the temperature field caused by the transfer of thermal waters inflows and the mechanical processes and changes in reservoir pressure in the earthquakes area of Vrancea zone indicates that there may be a relatively of short-term and substantial amount of thermal field of rocks change. They were caused by redistribution of heat with movement along the channels sources of groundwater during strengthening of tectonic activity.

Keywords: geodynamics, seismology, geothermic field monitoring.

C. Кравец, канд. геол. наук, млад. науч. сотруд.
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;

Д. Малыцкий, д-р физ.-мат. наук, проф.
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;

А. Асташкина, канд. геол. наук, млад. науч. сотруд.
E-mail: sac1@ukr.net;

Н. Махницкий, асп.
E-mail: caponerules@mail.ru
Карпатское отделение, Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
ул. Научная, 3-б, г. Львов, Украина, 79060

ДИНАМИЧЕСКИЕ ГЕОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ЛОКАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАКАРПАТСКОГО РЕГИОНА

Работа выполнялась для получения количественных оценок аномального изменения температурного поля под влиянием подготовки и релаксации динамических эффектов сейсмического происхождения и их возможной взаимосвязи. Проведены регулярные (режимные) наблюдения за изменениями температуры горных пород в сейсмически активных районах. При наличии гидротермальных источников в регионе в подготовительный период землетрясения, анализ данных должен происходить очень быстро (от часов, недель до месяца). Такие краткосрочные изменения температуры термальных вод наблюдались во время ряда сильных землетрясений.

Исследован ряд факторов, которые принимают участие в процессах перераспределения температурного поля в толще окружающих горных пород на станциях Карпатской сейсмической сети. Важно было установить взаимосвязь факторов для компенсации изменений значения температуры и влияния на геофизические исследования. Чтобы разработать нужную методику измерений геотермического градиента, на территории полигона были организованы режимные площадные и глубинные наблюдения за температурой. Для осуществления точных метео- и температурных наблюдений применен автономный цифровой мультисканальный термограф, обеспечивающий относительную точность измерения температуры порядка 0,01°C.

Впервые установлено по результатам анализа данных длительных геотемпературных наблюдений среды и в буровой скважине на глубине 35 м на станции Карпатской сети (РГС Берегово) влияние очага (источник распространения сейсмических волн) на аномальные изменения параметров теплового поля во времени. Получен результат, свидетельствующий об аномальном поведении температурного поля, вызванном перераспределением термальных вод под влиянием механических процессов и изменением пластовых давлений в области очага землетрясения района Вранча. Экспериментальный материал свидетельствует о том, что возможны изменения теплового поля горных пород, относительно кратковременные и значительные по величине, которые вызываются перераспределением тепла с движением по каналам источников подземных вод во время увеличения тектонической активности.

Ключевые слова: геодинамика, сейсмология, геотемпературное поле, мониторинг.

УДК: 553.981

С. Рибалка, асп.

E-mail: sergej.rybalka@gmail.com;

О. Карпенко, д-р геол. наук, проф.

E-mail: alexbrig@inbox.ru

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

КОЛЕКТОРСЬКІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

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

Важливим аспектом усього процесу підрахунку запасів нафти та газу є оцінка нижньої межі параметрів кондицій порід-колекторів, які безпосередньо впливають на розміри запасів вуглеводнів. Відомо, що зі збільшенням глибини залягання продуктивних відкладів закономірно погіршується статистичний зв'язок між пористістю, глинистістю та проникністю.

На прикладі трьох родовищ центральної частини Дніпровсько-Донецької западини показано статистичні закономірності розподілу пористості та проникності із глибиною залягання гірських порід. Фактичним матеріалом для статистичної вибірки служили лабораторні дані аналізу кернавого матеріалу з родовищ: Семиренківське родовище – 148 зразків, Кавердинське – 98, Комишнянське – 370.

Статистичний аналіз показав значний розкид значень коефіцієнта пористості в межах області прийнятих граничних значень проникності (0,8-1,0 фм²). Діапазон зміни значень Кп знаходиться в широких межах – від десятих відсотка до 13%. Відповідно, при використанні тільки одного граничного значення (Кп гр.) легко дійти хибних висновків щодо фільтраційно-ємнісних властивостей окремих пластів. Безсумнівно, глибокозалягаючі породи-колектори мають суттєву складову тріщинної проникності й пористості, що забезпечує добрі фільтраційно-ємнісні властивості продуктивним горизонтам, а значить, дослідження великих глибин є перспективним напрямом для пошуків та подальшої розробки родовищ вуглеводнів.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, породи-колектори, пористість, проникність, великі глибини, тріщинуватість.

Вступ. Важливим етапом усього процесу підрахунку запасів нафти та газу є оцінка нижньої межі параметрів кондицій порід-колекторів, які безпосередньо впливають на розміри запасів вуглеводнів. Впродовж останнього десятиліття у зв'язку з широким застосуванням методів інтенсифікації нафтогазовилучення розпочалася одночасна розробка "традиційних" і "нетрадиційних" порід-колекторів на одному родовищі, що поставило перед фахівцями нелегку задачу їх поділу та вибору граничних значень підрахункових параметрів.

Запаси, які затверджуються Державною комісією України по запасах корисних копалин, мають низку параметрів кондицій, серед яких одним з найважливіших є граничне значення абсолютної проникності (Кпр). Згідно з офіційно затвердженим поняттям породи-колектора: "мінімальна абсолютна проникність колектора – це найменша абсолютна проникність колектора, за якої в початкових пластових умовах починається фільтрація вуглеводневого компонента пластового флюїду, що підраховується" [6]. Тобто, підраховані запаси вуглеводнів, які вміщуються в колекторах (породах, у яких величина фазової проникності відмінна від нуля), за промисловим значенням будуть віднесені до балансових, умовно балансових і позабалансових. На практиці граничне значення коефіцієнта проникності за недостатністю фактичного матеріалу для порід-колекторів часто приймають рівним 1 фм² (мД). При уточненні або наявності представницьких вибірок результатів лабораторних петрофізичних досліджень, промислових випробувань, граничне значення Кпр приймається рівним 0,6-0,8 мД [3]. Відповідно до цього, всі породи-колектори, що вміщують вуглеводні й мають значення абсолютної проникності менше граничного, відносяться до категорії "нетрадиційних".

Відомо, що зі збільшенням глибини залягання продуктивних відкладів закономірно погіршується статистичний зв'язок між пористістю, глинистістю та проникністю в області невеликих (0,5-2 фм²) значень останньої [3]. Типовими в цьому відношенні є такі родовища – Східно-Полтавське, Семенцівське, Семиренківське, Байрацьке, Комишнянське, Кавердинське та ін. Тому встановлення граничних значень коефіцієнта проникності для продуктивних порід че-

рез граничне значення пористості без врахування типу колектора для глибокозалягаючих відкладів є не зовсім коректною процедурою, причому точність і достовірність подібних оцінок невисокі.

У цій статті висвітлено стан геологічного вивчення глибокозалягаючих продуктивних горизонтів за результатами лабораторних аналізів керна в межах трьох газоконденсатних родовищ, розташованих у центральній частині приосової зони Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), а саме Комишнянського, Семиренківського та Кавердинського (рис. 1).

Завдання – оцінити особливості зміни пористості й проникності на глибинах понад 4500 м, їхні граничні кондиційні значення та характеристики розподілу в розрізі на прикладах конкретних родовищ. Об'єктами дослідження є низка газоконденсатних родовищ, розташованих у найбільш заглибленій центральній частині ДДЗ. Частини геологічних розрізів, у яких виявлено продуктивні пласти, представлені переважно теригенними породами; колекторами є пісковики, меншою мірою алевроліти. Погіршення колекторських властивостей з глибиною, в основному, пов'язують з епігенетичними змінами порід, збільшенням вмісту вторинного цементу в міжзерновому просторі піщано-алевритових порід.

Виклад основного матеріалу. Комишнянське газоконденсатне родовище розташоване в Миргородському районі Полтавської області, за 22 км від м. Миргород. Об'єкт був виявлений ще у 1948 р. у відкладі неогену за результатами структурно-геологічної зйомки. При випробуванні параметричної свердловини на площі в 1984 р. з відкладів верхньовізейського під'ярусу (продуктивний горизонт В-22, інт. 5797-5827 м) отримано промисловий приплив газу та конденсату [1].

Візейські відклади залягають у вигляді структурного носа, розміщеного в окремому тектонічному блоці. З півдня він обмежений скидом амплітудою близько 50 м. Газоносність Комишнянського родовища пов'язана з відкладами візейського ярусу нижнього карбону (горизонти В-16, В-17, В-18, В-19, В-20, В-21, В-22, В-23, В-24). Поклади пластові тектонічно екрановані й літологічно обмежені. Колекторами є пісковики.

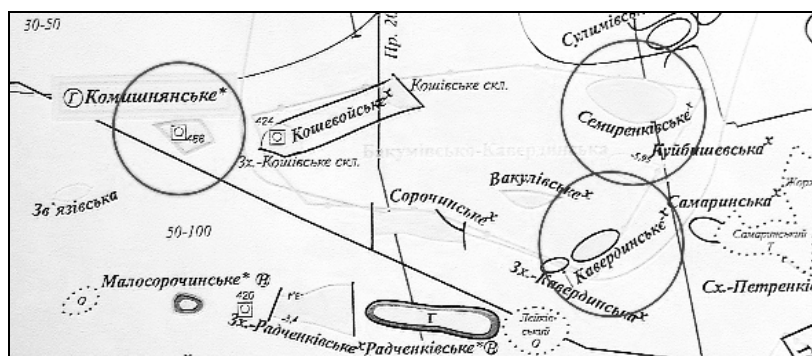


Рис. 1. Фрагмент карти нафтогазогеологічного районування ДДЗ (за І.І. Дем'яненком, 2011 р.)

За даними інтерпретації даних комплексу геофізичних досліджень, у параметричній свердловині 488 було виділено низку пластів для оцінки промислової продуктивності колекторів (ущільнені нафтогазонасичені піски з пористістю 7-9%) й отримано приплив у таких

горизонтах: В-16 (5048-5123 м), В-17 (5350-5338 м) та В-24 (6070-6074 м).

На наведених розподілах ядерних значень K_p і K_{pr} Комишнянського родовища (рис. 2) спостерігається помітне зниження фільтраційно-смісних властивостей (ФЄВ) пісковиків і алевролітів з глибиною.

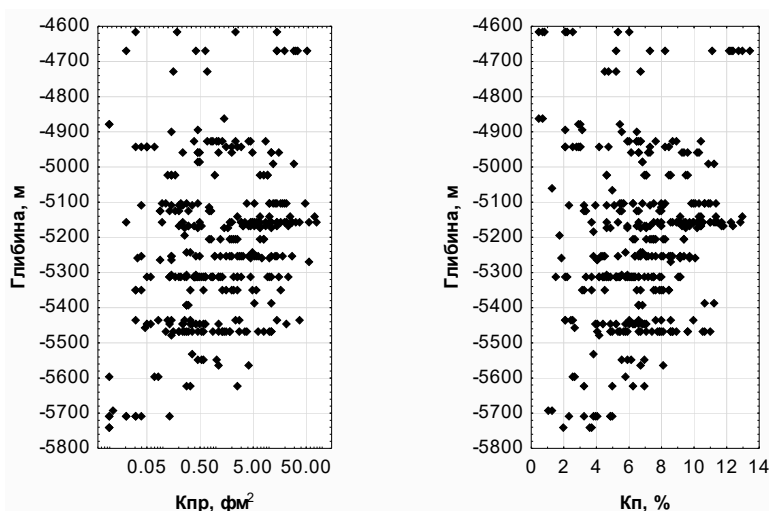


Рис. 2. Розподіл значень $K_{пр}$ і $K_{п}$ пісковиків і алевролітів Комишнянського газоконденсатного родовища по глибині залягання продуктивних відкладів

На рис. 3 наведено статистичні розподіли значень коефіцієнтів пористості й абсолютної проникності для піщано-алевритових порід візейського ярусу. Наведені гістограми відповідають класичним уявленням про теоретичні закони розподілів імовірностей: коефіцієнт пористості – нормальний закон розподілу, коефіцієнт проникності – логнормальний закон розподілу. Слід відзначити, що окремих характерних груп колекторів, які б виділялися певними фільтраційно-ємнісними характеристиками, не виявлено, – статистичні розподіли, наведені на рис. 3, мають одномодальний характер. Тобто, помітна група колекторів із пористістю переважно трицинного типу з високою проникністю та низькою пористістю статистично не проявляється.

На рис. 4 наведено залежність абсолютної проникності від пористості для піщано-алевритових порід візейського ярусу Комишнрянського газоконденсатного родовища. Тут можна виділити три області, що утворені (або обмежені) перетином ліній, які відповідають граничним значенням, встановленим при підрахунок запасів вуглеводнів: $K_p=6,5\%$, $K_{pr}=0,9 \text{ фм}^2$. Аналіз розподілу ФЄВ дозволяє зробити такі припущення. Область значень параметрів № 1 формується за рахунок, в основному, міжзернової пористості й відповідає за наявність "класичних" кондиційних колекторів. В області № 2 переважає тріщинно-поровий тип колектора. Тут існування кондиційних порід-колекторів підтверджується відносно високими значеннями коефіцієнта проникності, ви-

цими за критичне. Величина пористості низька, тому фільтраційні властивості формуються, в основному, за рахунок формування тріщин (тріщинної пористості). Під номером 3 знаходиться область існування неколекторів (проте, сюди, ймовірно, можуть потрапити й породи-колектори "нетрадиційного" типу – ущільнені пісковики й алевроліти у разі їх доведеної газонасиченості). Взагалі, у світлі нових поглядів на розповсюдження вуглеводнів у земній корі, їх промислових скупчень, що доведені отриманням значних приростів видобутку газу й нафти з нетрадиційних покладів, граничні значення параметрів пластів, які враховуються при оцінці привабливості (у тому числі, комерційної) виявлених родовищ, мають встановлюватися з урахуванням типу покладу (також – колектора).

Семиренківське газоконденсатне родовище розташоване в Шишацькому районі Полтавської області. Буріння розпочате в 1974 р. свердловиною 2, при випробуванні якої в 1990 р. з верхньовізейських відкладів (продуктивний горизонт В-17в, інт. 5329-5366 м) було одержано фонтан газу дебітом 191 тис м³ і конденсату – 31,2 т/добу через діафрагму діаметром 14 мм [1].

Промислово газоносними є відклади горизонтів В-166+в (5003-5096 м), В-17а (5246-5301 м), В-17б (5246-5301 м), В-17в (5314-5404 м), В-19 (5547-5619 м) верхньовізейського під'ярусу. Поклади масивно-пластові, або пластові тектонічно екрановані.

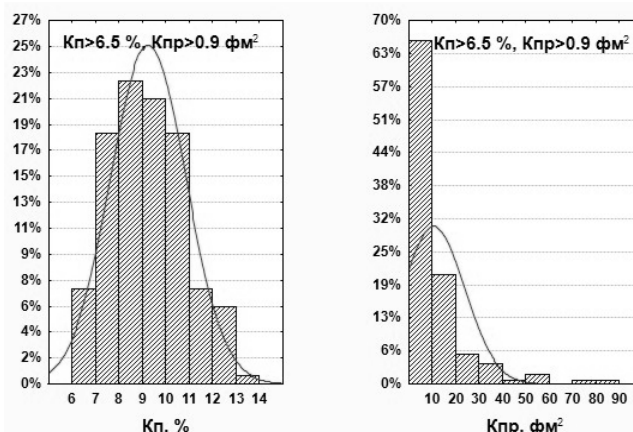


Рис. 3. Гістограми розподілу значень K_p і K_{pr} пісковиків і алевролітів Комишнянського газоконденсатного родовища (за умови $K_p > 6,5\%$ і $K_{pr} > 0,9 \text{ фм}^2$)

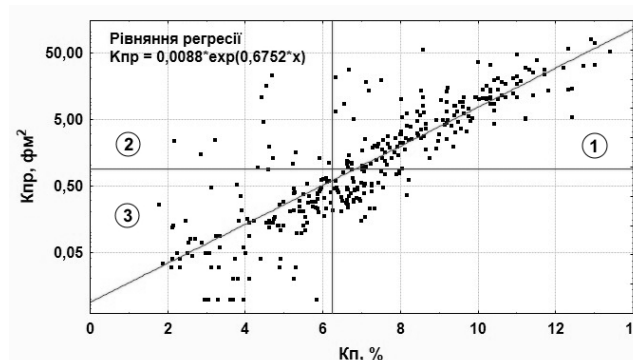


Рис. 4. Графік залежності K_{pr} від K_p для пісковиків та алевролітів візейського ярусу Комишнянського газоконденсатного родовища:

- 1 – область існування кондиційних колекторів, переважно з міжзерновою пористістю;
2 – область існування тріщинно-порового типу колектора; 3 – область відсутності порід-колекторів.
На наведених нижче глибокозалагаючих газоконденсатних родовищах спостерігається аналогічна ситуація

Кавердинське газоконденсатне родовище розташоване в Шишацькому районі Полтавської області. Родовище відкрите у листопаді 1997 р. пошуковою свердловиною 2, при випробуванні якої з верхньовізейських відкладів (пласт В-18б) отримали приплив газу з конденсатом [1].

Газоконденсатні поклади виявлені у верхньовізейських відкладах нижнього карбону і приурочені до продуктивних горизонтів В-16а-д (4582-4750,5 м), В-17а-д (4799-4910 м), В-18а-б (5013-5224 м).

Слід зауважити, що колекторами на всіх названих родовищах є піщано-алевритисті породи, а поклади розташовані безпосередньо в зоні великих глибинних розломів (Ю.А. Зарубін, М.І. Мачужак) [4]. Відповідно, можна очікувати їх приуроченість до резервуарів з підвищеною тріщинуватістю, оскільки поява тріщинуватості в розрізі носить досить складний характер і визначається розвитком тектонічних деформацій, що й обумовлює відносно значні дебіти газу при досить посередніх

емнісно-фільтраційних властивостях [5]. Як правило, такі зони розуцільнення виникають внаслідок тріщиноутворення в склепінні антиклінальних складок, коли деформації вигину пісковиків перевищують граничні деформації розтягу, що спричиняє розвиток крихких деформацій розриву й поліпшує колекторські властивості (В.В. Лукінов, О.О. Орлов, О.М. Трубенко та ін.).

Фактичним матеріалом для статистичної вибірки служили лабораторні дані аналізу кернавого матеріалу з родовищ: Семиренківське родовище – 148 зразків, Кавердинське – 98, Комишнянське – 370.

У табл. 1 наведено граничні значення кондиційності коефіцієнтів пористості та проникності порід-колекторів газоконденсатних родовищ, отримані шляхом співставлення результатів інтерпретації даних ГДС і результатів випробувань пластів (наявні у відповідних звітах з підрахунків запасів вуглеводнів по родовищах).

Таблиця 1

Середні граничні значення коефіцієнтів пористості та проникності на досліджуваних родовищах (без урахування типу пористості колектора)

	Семиренківське ГКР	Кавердинське ГКР	Комишнянське ГКР
$K_p, \%$	6,5	7	6,5
$K_{pr}, \text{фм}^2$	0,7	1,2	0,9

Основна частина проникності (рис. 4, область 2) формується за рахунок тріщинуватості (тектонічного, літогенетичного та іншого походження). В той же час, існує група теригенних порід із переважно порово-тріщинним типом колектора, який можна виявити при мікропетрографічних дослідженнях. Проте, за даними ГДС теоретично можливо, а на практиці доволі складно встановити переважаючий тип колектора. Роботами фахівців ННІ "Інститут геоло-

гії" Київського національного університету імені Тараса Шевченка (проф. Г.Т. Продайвода, проф. С.А. Вижива, ст. наук. співроб. І.М. Безродна [2]) доведено, що за спеціально розробленими методиками за даними АК, НГК (ННК), ГГК-Щ можна не лише встановити переважаючий тип колектора, але й визначити кількісно вміст окремих складових пустотного простору гірських порід [2]. Таким чином, з'являється додаткова можливість підвищити точ-

ність оцінки підрахункових параметрів, граничних значень пористості для кожного типу колектора та збільшити геологічні запаси вуглеводнів на родовищах за рахунок залучення низькопористих, але проникних, продуктивних теригених порід-колекторів із переважаючим тріщинним компонентом пористості.

Висновки. Аналіз отриманих даних дає змогу зобразити такі висновки. Спостерігається значний розкид значень коефіцієнта пористості, виміряних на зразках керну з продуктивних горизонтів, у межах області прийнятих граничних значень проникності ($0,8-1,0 \text{ фм}^2$). Діапазон зміни значень K_p знаходиться в широких межах – від десятих відсотка до 13%. Відповідно, при використанні тільки одного граничного значення ($K_p \text{ гр.}$), що не рідко відбувається на практиці, легко дійти хибних висновків щодо ФЄВ окремих пластів. При виявленні пластів-колекторів за даними геофізичних досліджень свердловин, особливо на великих глибинах (понад 4000 м), слід оцінювати тип пористості, визначати величини вторинної пористості та коефіцієнта проникності. Без таких оцінок існує ймовірність пропуску продуктивних пластів. Безсумнівно, глибокозалегаючим породам-колекторам притаманна суттєва складова тріщинної проникності й пористості, що забезпечує добрі ФЄВ продуктивним горизонтам, а значить, великі глибини є перспективним напрямом для пошуків та подальшої розробки родовищ вуглеводнів.

Список використаних джерел

1. Атлас родовищ нафти і газу України: в 6 т. / УНГА; за ред. М. М. Іванюта, В. О. Федішин, Б. І. Денег [та ін.]. – Л.: Центр Європи, 1998. – Т. 2.
2. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу / Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва, І. М. Безродна, Т. Г. Продайвода. – К.: Вид.-поліграф. центр "Київ. ун-т", 2011. – 367 с.
3. Карпенко О. М. Оптимізація граничних значень параметрів порід-колекторів і вдосконалення методик інтерпретації даних ГДС – шлях до приросту запасів вуглеводнів / О. М. Карпенко // Друга науково-практична конференція "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування": мат. конф., 5-8 жовтня 2015 р., Трускавець. – К., 2015. – С. 140-143.

S. Rybalka, Postgraduate Student

E-mail: sergej.rybalka@gmail.com;

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

E-mail: alexbrig@inbox.ru

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

CENTRAL PART OF DNEIPER-DONETS BASIN: RESERVOIR PROPERTIES OF DEEP-LAID TERRIGENOUS ROCKS

Estimating oil and gas reserves is irrelevant without exploring lower boundary environment of reservoir rocks, which directly affect the capacity of hydrocarbon reserves. The increasing depth of the productive sediments is known to naturally derate porosity, permeability, and clay content.

In the case of three central fields of the Dnieper-Donets basin there are given statistical patterns of porosity and permeability distribution relative to depth of rocks. Core material from the deposits that follow became the actual samples for statistical and laboratory analysis: 148 samples from the Semrenkivsk field, 98 samples from the Kaverdinsk field, and 370 samples from the Komyshnyansk field, namely.

Statistical analysis shows significant variations in the ratio of porosity within the adopted permeability limit values ($0.8-1.0 \text{ фм}^2$). The range of K_p values of K_{por} varies from 0.1% to 13%. Accordingly, the use of only one threshold value ($K_{por \text{ lim}}$) can result in false conclusions about the filtration and capacitive properties of individual layers. Inherent fracture permeability and porosity, which is indicative of deep-laid reservoir rocks, provides good filtration and capacitive properties of producing strata, making greater depths a promising direction for further prospecting for and development of hydrocarbon deposits.

Keywords: Dnieper-Donetsk basin, reservoir rocks, porosity, permeability, great depth, fracturing.

C. Рыбалка, асп.

E-mail: sergej.rybalka@gmail.com;

A. Карпенко, д-р геол. наук, проф.

E-mail: alexbrig@inbox.ru

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

КОЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Важным аспектом всего процесса подсчета запасов нефти и газа является оценка нижней границы параметров кондиций пород-колекторов, которые непосредственно влияют на размеры запасов углеводородов. Известно, что с увеличением глубины залегания продуктивных отложений закономерно ухудшается статистическая связь между пористостью, глинистостью и проницаемостью.

На примере трех месторождений центральной части Днепро-Донецкой впадины показаны статистические закономерности распределения пористости и проницаемости с глубиной залегания горных пород. Фактическим материалом для статистической выборки служили лабораторные данные анализа кернового материала месторождений углеводородов: по Семренковскому месторождению – 148 образцов, Кавердинскому – 98, Комышнянскому – 370.

Статистический анализ показал значительный разброс значений коэффициента пористости в пределах области принятых предельных значений проницаемости ($0,8-1,0 \text{ фм}^2$). Диапазон изменения значений K_p находится в широких пределах – от десятых процента до 13%. Соответственно, при использовании только одного предельного значения ($K_p \text{ гр.}$) легко прийти к ошибочным выводам относительно фильтрационно-емкостных свойств отдельных пластов. Несомненно, глубокозалегающим породам-колекторам присуща существенная составляющая трещинной проницаемости и пористости, что обеспечивает хорошие фильтрационно-емкостные свойства продуктивным горизонтам, а значит, большие глубины являются перспективным направлением для поисков и дальнейшей разработки месторождений углеводородов.

Ключевые слова: Днепро-Донецкая впадина, породы-колекторы, пористость, проницаемость, большие глубины, трещиноватость.

4. Мачужак М. І. Перспективи відкриття значних за запасами родовищ газу на великих глибинах у Дніпровсько-Донецькій западині / М. І. Мачужак, А. В. Лизанець // Нафтогазова галузь України. – К., 2013. – № 3. – С. 20-23.

5. Мачужак М. І. Трещиноватость горных пород и особенности разработки газоконденсатных залежей на больших глубинах в Днепровско-Донецкой впадине / М. І. Мачужак, Ю. А. Зарубин, В. А. Кривошея // Проблемы нафтогазової промисловості: [зб. наук. пр.] – К., 2005. – Вип. 1. – С. 128-133.

6. Наказ Державної комісії України по запасах корисних копалин "Положення про порядок техніко-економічного обґрунтування кондицій для підрахунку запасів родовищ нафти і газу" від 27.11.2006 № 316. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1383-06>.

References

1. Ivanyuta, M.M., Fedyshyn, V.O., Denegha, B.I. (1998). *Atlas of oil and gas fields in Ukraine [Atlas rodovyschch nafty i hazu Ukrayiny]*. (Vol. 2). Lviv: Tsentr Yevropy. [In Ukrainian].

2. Prodaivoda, H.T., Vyzhva, S.A., Bezrodna, I.M., Prodaivoda, T.H. (2011). *Geophysical methods for evaluating productivity of oil and gas reservoirs [Heofizychni metody otsinky produktyvnosti kolektoriv nafty i hazu]*. Kyiv: Kyivskiy universytet, 367 p. [In Ukrainian].

3. Karpenko, O.M. (2015). Optimization of the limit values of the parameters of reservoir rocks and improvement of methods of well logging data interpretation - a way to increase hydrocarbon reserves [Optimizatsiia hranychnykh znachen parametriv porid-kolektoriv i vdoskonalennia metodyk interpretatsii danykh HDS – shliakh do pryrostu zapasiv vuhlevodniv]. *Subsoil use in Ukraine: Perspectives of investment* (Ukraine, Truskavets, October 5-8, 2015). (pp. 140-143). Kyiv. [In Ukrainian].

4. Machuzhak, M.I., Lyzanets, A.V. (2013). The prospects of discovery significant deposits of gas at great depths in the Dnieper-Donets Basin [Perspektivy vidkryttia znachnykh za zapasamy rodovyschch hazu na velykykh hlybynakh u Dniprovsko-Donetskii zapadyni]. *Naftohazova haluz Ukrainy*, 3, 20 23. [In Ukrainian].

5. Machuzhak, M.Y., Zarubyn, Yu.A., Kryvosheia, V.A. (2005). Fracturing of rocks and features of the development of gas condensate deposits at great depths in the Dnieper-Donets Basin [Treshchynovost hornnykh porod y osobennosti razrabotki hazokondensatnykh zalezhei na bolshykh hlubynakh v Dneprovsko-Donetskoi vpadyne]. *Problemy naftohazovoi promyslovosti* (Vol. 1, pp. 128-133). Kyiv. [In Russian].

6. Order of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources "Regulations on the feasibility study of conditions for the calculation of reserves oil and gas fields". 27.11.2006, №316. (n.d.). *zakon5.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1383-06>. [In Ukrainian].

Надійшла до редколегії 22.01.16

УДК 550.832+550.834

Л. Скакальська, пров. інж.

E-mail: Skakalska.sbigph@gmail.com;

А. Назаревич, ст. наук. співроб., канд. фіз.-мат. наук

E-mail: nazarevych.a@gmail.com;

Карпатське відділення, Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060 Україна

УЗАГАЛЬНЕНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ДЛЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДОНАФТОГАЗОНАСИЧЕНОСТІ ПОРІД РОЗРІЗІВ СВЕРДЛОВИН

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)**Мета: представити застосований у авторській методиці прогнозування типу наповнювача пор порід розрізів свердловин математичний апарат в узагальненому вигляді.**Методика: для створення методики прогнозування водонафтогазонасиченості порід-колекторів у розрізах свердловин використано адекватну математичну модель гірської породи, на основі якої отримано загальні вирази для розрахунку швидкостей пружних хвиль, пористості та об'ємної густини для породи як двофазного середовища, у тому числі, для флюїдонасичених та сухих порід, а також використано раніше виведені теоретичні та емпіричні співвідношення для представлення необхідних у розрахунках за методикою характерних величин для твердої фази порід та виразів для обчислення пружних параметрів порід розрізу свердловини.**Результати: у статті подано виведення узагальнених співвідношень для прогнозування типу флюїду у порах порід-колекторів розрізів свердловин та поширеного визначення пружних характеристик порід. Особливості застосування методики проілюстровано конкретними прикладами розрахунків за даними акустичного каротажу.**Наукова новизна: в рамках авторської прогнозовної методики виведено узагальнені вирази для розрахунку водонафтогазонасиченості порід розрізів свердловин. Співвідношення такого роду для виявлення присутності колекторів у породах розрізу свердловини та розрізнення типів наповнювача пор порід отримано вперше. Математичний апарат оптимально поєднує простоту підходу з максимально повним урахуванням пружних властивостей досліджуваного середовища.**Практична значимість: виведені співвідношення забезпечують надійне прогнозування водонафтогазонасиченості порід-колекторів і, тим самим, ефективність пошуку вуглеводневих покладів у розрізах свердловин.**Ключові слова: каротаж, порода-колектор, водонафтогазонасиченість порід, модуль зсуву, стисливість, густина, функціонал.*

Постановка проблеми. Дослідження розрізів свердловин для виявлення покладів вуглеводнів є актуальною задачею нафтогазопрошукових робіт. Такі дослідження включають отримання та аналіз комплексних даних ГДС та кернових досліджень, різні математичні підходи, способи, методи, відповідні пакети комп'ютерних програм.

У рамках розв'язання цієї задачі нами (Л.В. Скакальською) розроблено методику прогнозування пористості й типу флюїдонасичення пор порід у розрізах свердловин за каротажними та керновими даними [13-16].

Метою даної роботи є представити виведення у рамках створеної методики прогнозування типу флюїдонасичення порід у розрізах свердловин узагальнених співвідношень для вибраної моделі гірської породи з включенням до розрахунку формул для усіх пружних параметрів досліджуваного розрізу; виведення узагальнених залежностей між пружними та колекторськими характеристиками породи для застосовності методики для будь-якого регіону, структури й типу порід і, тим самим, підвищення її ефективності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій за темою роботи. Методики комплексного аналізу та інтерпретації даних ГДС стосовно пошуків покладів вуглеводнів розвиваються впродовж багатьох десятиліть і зараз досягли хорошої ефективності. Вони розвиваються від простих (з інтерпретацією на якісному рівні) до все складніших кількісних [1-16], з використанням щораз точніших багатомірних кореляційних залежностей і багатопараметричних петрофізичних зв'язків із задіянням все складніших фізико-математичних моделей гірської породи.

Вчені-геофізики, створюючи фізико-математичні моделі порід, запропонували різні розробки дієвих математичних апаратів для якнайповнішого опису реальної гірської породи з її нелінійними зв'язками між різними параметрами та характеристиками, застосовні для нафтогазопрошукових робіт. Серед простіших підходів наближеного визначення ефективних фізичних властивостей гірських порід як неоднорідного середовища широ-

ко відомі методи усереднення властивостей за макро-об'ємом Фойгта і Реусса та їхнє узагальнення для багатофазних середовищ, виконане Хіллом. Певним удосконаленням у цьому напрямку є варіаційний метод Хашина-Штрикмана. Покращені наближення до реальних даних серед методів визначення ефективних пружних параметрів дають, зокрема, методи регуляризації структури та стохастичних диференціальних рівнянь. Добрі результати щодо оцінки властивостей реальних порід дають методи віріального розвинення, зокрема, енергетичний метод Ешелбі для еліпсоїдних включень. Ще далі розвиває ці підходи, у напрямку врахування різної концентрації та форми включень, метод самоузгодженого поля, який дає можливість враховувати у певному наближенні взаємодію між включеннями шляхом введення ефективних пружних властивостей середовища. Різні варіанти цього методу точніше описують реальні осадові або глинисто-пористі породи, але мають суттєві обмеження для порід зі складною структурою скелету, з тріщинуватістю та анізотропією.

Для інтерпретації даних ГДС також застосовується теорія деформування пористих тіл М. Біо та Ф. Гассмана. Отримані на її основі залежності між пружними характеристиками порід активно використовуються у відомих пакетах програм обробки даних ГДС, таких як "Gintel 97" [7] і "Геопрошук" [8]. У подальшому ці теорії розвивалися паралельно з розвитком методик акустичного каротажу (АК), особливо з появою такої його модифікації, як АКШ (акустичний каротаж широко-смуговий), яка дає можливість отримувати графіки змін по розрізу свердловини інтервального часу перших вступів хвиль (поздовжньої Δt_p , поперечної Δt_s , Лемба-Стоунлі Δt_{LS-t}), а також їхніх середніх амплітуд A_p , A_s , A_{st} і коефіцієнтів поглинання α_p , α_s , α_{L-St} . Для ефективного використання даних АКШ теорії М. Біо й Ф. Гассмана були модифіковані В. Добриніним стосовно визначення нафтонасичених колекторів з врахуванням при цьому основних обмежень зазначених теорій, зокрема, щодо пружного зв'язку між твердою породою та флюїдом [7]. Слід також згадати розробку китайськими геофізиками

Чжень Ю та Цзин Хе [20] високоточного методу для прогнозування флюїдів на основі геостатичної інверсії.

Серед найбільш розвинених сучасних підходів до визначень ефективних фізичних та колекторських властивостей багатокомпонентного геологічного середовища є методи, ґрунтовані на використанні взаємної кореляції кривих різних каротажних методів і рівнянь регресії для різних способів визначень характеристик порід, а також на теорії механіки стохастичного середовища з використанням методу умовних моментних функцій, у розробку яких значний внесок зробили українські вчені О.М. Карпенко, Б.П. Маслов, Г.Т. Продайвода, С.А. Вижва, І.М. Безродна, Т.С. Ізотова, О.В. Бондаренко, С.Є. Розловська, Н.С. Ганженко, К.І. Муц та інші [1, 5-8, 11]. Зокрема, у монографії [1] наведено розроблену методику прогнозування продуктивності порід-колекторів за даними ГДС шляхом інверсії акустичних даних у характеристики порід та структури пустотного простору [1, 4, 5]. Цим забезпечується моделювання геологічного середовища з урахуванням особливостей структури пустотного простору, анізотропії, термпружних властивостей.

Створюючи методику прогнозування водонафтогазонасиченості порід-колекторів у розрізах свердловин, автори даної роботи обрали для цього (як оптимальну щодо відтворення комплексу механічних властивостей реальних гірських порід) фізико-математичну модель гірської породи, розроблену Т.З. Вербицьким з колегами (див. [2-3, 9, 11]). Ця модель подає породу як двофазне (твердий скелет і пори) квазіоднорідне, ізотропне, нелінійно-пружне шарувате середовище з довільною кількістю включень і пустот різних розмірів і форм (менших за довжини зондуючих хвиль), вона враховує енергетичний підхід І. Ешелбі і добре описує пружні характеристики породи, їх залежність від пористості, типу заповнювача пор і тиску (глибини), особливості поширення в породах пружних хвиль, включаючи загансання, обмінні та нелінійні ефекти в шарах і на границях контакту шарів.

Врахування у моделі мінеральної та флюїдної складових, поєднання ефективних пружних характеристик, впливу на них тиску й пористості дало можливість достатньо точно й однозначно описати реальний розріз (визначити петрофізичні характеристики порід розрізів свердловин, тип заповнювача пор, надати повну, максимально близьку до реальної, характеристику пружних параметрів розрізу). Важлива позитивна властивість моделі: вона оперує типовими параметрами й характеристиками, які надійно і достатньо просто традиційно визначаються за даними ГДС і кернових досліджень. Це спрощує порівняння теоретичних і експериментальних даних, верифікацію результатів обчислень, у тому числі, за рахунок введення, за необхідності врахування конкретних особливостей розрізу тієї чи іншої свердловини, певних поправок при практичних чисельних розрахунках.

Закладений у моделі потенціал дав можливість ефективно використовувати її для задач сейсморозвідки та нелінійно-параметричної геоакустики (сейсмопрогностичні дослідження) [3, 9] та ін.), для аналізу та інтерпретації даних свердловинних досліджень [18]. Зокрема, П.І. Хекало [18] використав її для розрахунку пористості й флюїдонасичення порід розрізів свердловин. При цьому, швидкості пружних хвиль визначалися ним через об'ємний стиск, модуль зсуву – через встановлення його верхньої та нижньої межі при крайніх значеннях тиску по глибині.

За нашою методикою використання цієї моделі дає можливість розрахувати різні пружні та колекторські характеристики породи за даними звичайного АК чи сейсмічного каротажу (СК) (основний вхідний параметр

– інтервальний час ΔT_p), у той час, як для інших методик для отримання таких результатів потрібен розширений набір даних, наприклад, отримуваний складнішим і більш дорогим методом АКШ.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На основі описаної моделі автором розроблено методику прогнозування водонафтогазонасиченості порід у розрізах свердловин [13-16] із застосуванням системи теоретичних та емпіричних співвідношень нелінійного зв'язку стисливості та модуля зсуву сухих і флюїдонасичених порід з геостатичним і пластовим тиском, глибиною, пористістю, коефіцієнтом Пуассона, густинами кожної з фаз. Для отримання однозначного розв'язку системи рівнянь (див. [13-16]) обчислюються значення пружних модулів для твердої фази порід.

Попшарове визначення петрофізичних характеристик, спільне використання теоретичних і кореляційних емпіричних співвідношень для прогнозу наявності та типу заповнювача пор, разом з тим, неявно враховує "тонкі" залежності досліджуваних параметрів від інших факторів (температури, характеристик і тиску флюїду, фаціального та мінералогічного складу порід тощо), що є додатковою перевагою розробленої методики.

Використання параметра стисливості, як ключового у розрахунках, дало можливість оптимізувати обчислення і, разом з іншими методичними прийомами, забезпечило значне уточнення прогнозувань пористості й пружних параметрів порід розрізу. Порівняння з проведеними раніше розрахунками за іншими методами [8, 15] показало зменшення відхилення між розрахованими й фактичними параметрами у два й більше разів. Методика дає розрізнення нафти й води у порах порід-колекторів, вищу точність прогнозних розрахунків по розрізу в цілому (див. [13-16]), що проілюстровано наведеними нижче реальними прикладами. Вхідними параметрами в розрахунках є дані наявного каротажу, у першу чергу, АК чи СК, дані кернових досліджень і параметрична база характеристик порід досліджуваного регіону. Для зручності практичного застосування подана у [14, 16] система складних співвідношень потребує приведення до уніфікованого вигляду.

Виклад основного матеріалу. Оскільки обчислення простіше виконувати за готовими формулами, завданням у роботі поставлено виведення узагальнених співвідношень для розрахунку стисливості порід розрізів свердловин, застосованих для будь-якого регіону, структури й типу порід, та приведення розрахункових формул з прогнозування флюїдонасичення до виду: вхідні параметри – результат. Розріз свердловини, за методикою, формально розділяється на прошарки за кількістю вибраних для аналізу даних каротажу. Якщо, наприклад, для АК маємо дані з кроком за глибиною 10 чи 20 см, то це дає можливість дуже детально розчленувати розріз і виявляти тонкі водонафтогазонасичені пропластки у пачках шаруватих порід продуктивних горизонтів.

Послідовність дій, реалізованих у прогнозній методиці для отримання узагальнених виразів для розрахунку типу флюїдонасичення порід-колекторів у розрізах свердловин, така.

1 Узагальнені емпіричні співвідношення. На практиці, для кожного регіону, за результатами геолого-геофізичних досліджень отримують дискретні масиви значень основних пружних параметрів, пористості, тиску. Якщо розглядати складені різними гірськими породами розрізи свердловин регіону як тонкошарувате середовище, то можна функціональний вираз зв'язку стисливості β_{ij} , пористості ϕ_{ij} та тиску p_i записати (враховуючи викладене у [2]) нелінійною залежністю:

$$\beta_{ij} = A + C \cdot p_i + D \cdot \phi_{ij} \cdot p_i^S, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (1)$$

де $j = \overline{1, m}$ – кількість значень пористості, виміряних в однорідному i -му прошарку; $i = \overline{1, n}$ – кількість прошарків або значень інтервального часу для окремого розрізу; β_{ij} , ϕ_{ij} , p_i – значення стисливості, пористості, пласто-

вого тиску в i -тому однорідному прошарку розрізу свердловини, отримані за даними геологічних та геофізичних досліджень і приведені до безрозмірних величин.

За методом найменших квадратів отримано такі вирази для обчислення коефіцієнтів A , C , D , S формули (1):

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \sum_{j=1}^m \phi_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij})}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \cdot \sum_{i=1}^n p_i^2 - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \sum_{j=1}^m \phi_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij})}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \cdot p_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n p_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2}, \quad (2)$$

$$C = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \sum_{j=1}^m \phi_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij})}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \cdot p_i \right) - \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \sum_{j=1}^m \phi_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij})}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \cdot \sum_{i=1}^n p_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n p_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2}, \quad (3)$$

$$S = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\ln p_i \cdot \ln \frac{m \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij}) - \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \right) - \sum_{i=1}^n (\ln p_i) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{m \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij}) - \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln p_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln p_i \right)^2}, \quad (4)$$

$$D = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{m \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij}) - \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \right) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln p_i)^2 - \sum_{i=1}^n (\ln p_i) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{m \cdot \sum_{j=1}^m (\beta_{ij} \cdot \phi_{ij}) - \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}}{m \cdot \sum_{j=1}^m \phi_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^2} \cdot \ln p_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln p_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln p_i \right)^2} \right). \quad (5)$$

Надалі залишимо в позначеннях лише один індекс – i (показник номера прошарку), для спрощення викладок та записів, оскільки визначаємо один набір пружних параметрів та швидкостей для прошарку конкретного розрізу, тобто: β_i , ϕ_i , p_i . Для зручності позначення значень стисливості β_i у викладках введено новий індекс $k = \overline{n, 2}$ так, що $i = n - k + 1$.

2 Оцінку флюїдонасичення, за методикою, виконуємо за значеннями швидкостей пружних хвиль. Відомі вирази для їх розрахунку потребують значень стисливості, модуля зсуву, густини для кожного прошарку розрізу. Об'ємну густину обчислюємо з використанням співвідношення для двофазного середовища.

2.1.3 формули для обчислення швидкості поздовжніх хвиль

$$V_{pi}^\phi = \sqrt{(3 / \beta_i^\phi + 4 \mu_i^\phi) / 3 \rho_{oi}}; \quad i = \overline{1, n}; \quad (6)$$

отримуємо вираз для розрахунку модуля зсуву флюїдонасиченої породи

$$\mu_i^\phi = \frac{3}{4} \cdot [(V_{pi}^\phi)^2 \cdot \rho_i^\phi - 1 / \beta_i^\phi]; \quad i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

При наявності значень швидкостей поперечних хвиль для прошарків розрізу, наприклад, за даними акустичного каротажу широкосмугового (АКШ), формулу для розрахунку модуля зсуву запишемо так:

$$\mu_i^\phi = (V_{si}^\phi)^2 \cdot \rho_{oi}; \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Для зручності подамо формулу розрахунку швидкостей поперечних хвиль у флюїдонасичених породах через швидкості поздовжніх хвиль у вигляді

$$V_{si}^{\phi} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sqrt{(V_{pi}^{\phi})^2 - 1/\beta_i^{\phi} \cdot \rho_{oi}^{\phi}}; \quad i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Теоретично виведені співвідношення для розрахунку модуля зсуву, стисливості, густини сухих порід такі [16]:

$$\mu_1^{\phi} = \frac{\rho_{o1}^{\phi} \cdot \mu_1^{\phi}}{\rho_{o1}}; \quad (10)$$

$$\mu_{i+1}^{\phi} = \frac{1}{\mu_i^{\phi}} \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{5 - v_i^T}{15 \mu_{i+1}^{\phi} - \mu_i^{\phi}} \cdot \frac{15(\mu_{i+1}^{\phi} - \mu_i^{\phi}) + 4\mu_i^{\phi} \mu_{i+1}^{\phi} (\beta_{i+1}^{\phi} - \beta_i^{\phi})}{15\mu_i^{\phi} \mu_{i+1}^{\phi}} \right], \quad (11)$$

$$i = \overline{1, n-1};$$

$$\beta_n^{\phi} = \frac{3 \cdot \rho_{on}^{\phi}}{\rho_{on}^{\phi} \cdot (3/\beta_n^{\phi} + 4 \cdot \mu_n^{\phi}) - 4 \cdot \mu_n^{\phi} \cdot \rho_{on}^{\phi}}; \quad (12)$$

$$\beta_{k-1}^{\phi} = \beta_k^{\phi} + \frac{15 \cdot (2 - v_k^T)}{4 \cdot (5 - v_k^T)} \cdot (1/\mu_{k-1}^{\phi} - 1/\mu_k^{\phi}), \quad k = \overline{n, 2}; \quad (13)$$

$$\rho_{oi}^{\phi} = \rho_i^T \cdot (1 - \phi_i); \quad i = \overline{1, n}, \quad (14)$$

де ρ_{oi}^{ϕ} – об'ємна густина i -го прошарку сухої породи; ρ_i^T – густина твердої фази i -го прошарку флюїдонасиченої породи; v_i^T – коефіцієнт Пуассона твердої фази породи; β_k^{ϕ} , β_{k-1}^{ϕ} – стисливості, k -го, $k-1$ -го та μ_i^{ϕ} , μ_{i+1}^{ϕ} – модулі зсуву i -го, $i+1$ -го прошарку флюїдонасиченої породи.

Отже, для обчислення швидкостей пружних хвиль у флюїдонасичених породах маємо вирази (6) і (9), де для β_i^{ϕ} побудовано емпіричне співвідношення за виразами (1)-(5), а значення модулів зсуву μ_i^{ϕ} визначаємо за формулами (7) або (8).

2.2 Для розрахунку швидкостей у сухих породах використаємо вирази (10)-(14), що включають пружні параметри флюїдонасичених порід. Для визначеності системи рівнянь, яка описує поведінку пружних парамет-

рів у гірських породах, при обчисленнях враховуємо умову рівності модулів зсуву в ненавантажених сухих і флюїдонасичених породах [2], а отже, рівності швидкостей поперечних хвиль у сухій породі й у твердій фазі породи першого прошарку розрізу, що записано умовою (10). Для розрахунку стисливості порід у n -му прошарку виведено умову (12) [16]. У кожному вищому прошарку це буде вираз (13). Зокрема, при $n=2$ з (13) отримаємо вираз для розрахунку стисливості у першому прошарку сухої породи:

$$\beta_1^{\phi} = \beta_2^{\phi} + \frac{15 \cdot (2 - v_1^T)}{4 \cdot (5 - v_1^T)} \cdot (1/\mu_1^{\phi} - 1/\mu_2^{\phi}). \quad (15)$$

З урахуванням (14) і $\rho_{o1}^{\phi} \equiv \rho_1^T$, отримаємо такі вирази для розрахунку швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль у першому прошарку для сухої породи:

$$V_{p1}^{\phi} = \sqrt{\frac{1}{\rho_1^T \cdot \beta_1^{\phi}} + \frac{4}{3} \cdot \frac{\mu_1^{\phi}}{\rho_{o1}^{\phi}}}; \quad V_{s1}^{\phi} = \sqrt{\frac{\mu_1^{\phi}}{\rho_{o1}^{\phi}}}. \quad (16)$$

Коли відомі величини швидкостей поперечних хвиль для флюїдонасичених порід (результати АКШ), то для подальшого розрахунку замість формул (16) можна використати вирази

$$V_{p1}^{\phi} = \sqrt{\frac{1}{\rho_1^T \cdot \beta_1^{\phi}} + \frac{4}{3} \cdot V_{s1}^{\phi}}; \quad V_{s1}^{\phi} = V_{s1}^{\phi}. \quad (17)$$

Усі складові для обчислень за формулами (16) чи (17), очевидно, маємо.

2.3 Співвідношення (11) при $i = n-1$ набуде вигляду:

$$\mu_n^{\phi} = 1 / \left[\frac{1}{\mu_{n-1}^{\phi}} - \frac{5 - v_{n-1}^T}{3} \cdot \frac{15(\mu_n^{\phi} - \mu_{n-1}^{\phi}) + 4\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi} (\beta_n^{\phi} - \beta_{n-1}^{\phi})}{15\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi}} \right]. \quad (18)$$

Підставимо праві частини виразів (12), (14), (18) у формули для обчислення швидкостей пружних хвиль у сухих породах і отримаємо для найглибшого прошарку співвідношення виду:

$$V_{pn}^{\phi} = \sqrt{\frac{3/\beta_n^{\phi} + 4 \cdot (\mu_n^{\phi} - \mu_{n-1}^{\phi})}{3 \cdot \rho_{on}^{\phi}} - \frac{4 \cdot \mu_n^{\phi} \cdot \phi_n \cdot \rho_{on}^{\phi}}{3 \cdot \rho_{on}^{\phi} \cdot \rho_{on}^{\phi}} + \frac{4}{3 \cdot \rho_{on}^{\phi}}} / \left[\frac{1}{\mu_{n-1}^{\phi}} - \frac{5 - v_{n-1}^T}{3} \cdot \frac{15(\mu_n^{\phi} - \mu_{n-1}^{\phi}) + 4\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi} (\beta_n^{\phi} - \beta_{n-1}^{\phi})}{15\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi}} \right]; \quad (19)$$

$$V_{sn}^{\phi} = \sqrt{\frac{1}{\rho_n^T \cdot (1 - \phi_n)}} / \left[\frac{1}{\mu_{n-1}^{\phi}} - \frac{5 - v_{n-1}^T}{3} \cdot \frac{15(\mu_n^{\phi} - \mu_{n-1}^{\phi}) + 4\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi} (\beta_n^{\phi} - \beta_{n-1}^{\phi})}{15\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi}} \right]. \quad (20)$$

або

$$V_{pn}^{\phi} = V_{pn}^{\phi}, \quad (21)$$

що є правильним при закритих порах порід при високих тисках, і

$$V_{sn}^{\phi} = \sqrt{\frac{1}{\rho_n^T \cdot (1 - \phi_n)}} / \left[\frac{1}{\mu_{n-1}^{\phi}} - \frac{5 - v_n^T}{3} \cdot \frac{15(\mu_n^{\phi} - \mu_{n-1}^{\phi}) + 4\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi} (\beta_n^{\phi} - \beta_{n-1}^{\phi})}{15\mu_{n-1}^{\phi} \mu_n^{\phi}} \right]. \quad (22)$$

2.4 Для довільного прошарку розрізу (між першим і найглибшим, n -им) швидкості обчислюються з урахуванням (11) і (13), за формулами:

$$V_{pi}^{\phi} = \sqrt{\frac{\rho_{oi}^{\phi} \cdot (3/\beta_{n-k+1}^{\phi} + 4 \cdot \mu_i^{\phi}) - 4 \cdot \mu_i^{\phi} \cdot \rho_i^{\phi}}{3 \cdot \rho_{oi}^{\phi} \cdot \rho_i^{\phi}} + \frac{4}{3\rho_{oi}^{\phi}}} / \left[\frac{1}{\mu_{i-1}^{\phi}} - \frac{5 - v_i^T}{3} \cdot \frac{15(\mu_i^{\phi} - \mu_{i-1}^{\phi}) + 4\mu_{i-1}^{\phi} \mu_i^{\phi} (\beta_{n-k+2}^{\phi} - \beta_{n-k+1}^{\phi})}{15\mu_{i-1}^{\phi} \mu_i^{\phi}} \right]; \quad (23)$$

$$V_{si}^c = \sqrt{1/\rho_{oi}^c \cdot \left[\frac{1}{\mu_{i-1}^c} - \frac{5-v_i^T}{3} \cdot \frac{15 \cdot (\mu_i^\phi - \mu_{i-1}^\phi) + 4\mu_{i-1}^\phi \mu_i^\phi (\beta_{n-k+2}^\phi - \beta_{n-k+1}^\phi)}{15\mu_{i-1}^\phi \mu_i^\phi} \right]}; i = \overline{2, n-1}; k = \overline{n-1, 2}. \quad (24)$$

2.5 Основним пошуковим засобом для розрізнення типу флюїду в порах порід є функція мінімізації модуля відхилення розрахованої швидкості від такої самої, отриманої з даних інтервального часу АК чи СК:

$$\Phi = \min_{\phi_{j\min} \leq \phi_{ij} \leq \phi_{j\max}} \{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4\}, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; \quad (25)$$

$$\Phi_2 = \sqrt{\frac{\left[(1-\phi_{ij}) \cdot \rho^T \cdot \left(3/\beta_{n-k+1}^\phi + 4 \cdot \mu_i^\phi \right) - 4 \cdot \mu_i^c \cdot \rho_i^\phi \right] \cdot \left[\frac{1}{\mu_{i-1}^c} - \frac{5-v_i^T}{3} \cdot \frac{15 \cdot (\mu_i^\phi - \mu_{i-1}^\phi) + 4\mu_{i-1}^\phi \mu_i^\phi (\beta_{n-k+2}^\phi - \beta_{n-k+1}^\phi)}{15\mu_{i-1}^\phi \mu_i^\phi} \right] + 4 \cdot \rho_i^\phi}{3 \cdot (1-\phi_{ij}) \cdot \rho_i^T \cdot \rho_i^\phi}} - V_i^{AK(CK)} \right|, \\ i = \overline{2, n-1}; k = \overline{n-1, 2};$$

$$\Phi_3 = \left| V_{pn}^\phi - V_n^{AK(CK)} \right|, i = n; \phi = 0; P \geq 80 \text{ МПа};$$

$$\Phi_4 = \left| \sqrt{(3/\beta_i^\phi + 4\mu_i^\phi)/3\rho_{oi}^c} - V_i^{AK(CK)} \right|, i = \overline{1, n}.$$

Для визначення мінімального серед перших трьох модулів функціоналу (25), порівняння виконано з розрахованими величинами швидкостей для газонасичених чи сухих порід. Коли мінімальною виявиться різниця у четвертому модулі, – то найімовірнішим наповнювачем пор можна вважати рідкий флюїд. Для цього випадку в методиці передбачено проведення дослідження з розрізнення нафти й води у порах породи-колектора [16].

Отже, практична реалізація алгоритму полягає у знаходженні мінімального серед модулів функціоналу (25) для кожного з досліджуваних прошарків розрізу.

Практичне застосування. Для розрахунку параметрів стисливості та модуля зсуву у флюїдонасичених і сухих породах геологічних розрізів Зовнішньої зони Передкарпатського прогину (ЗЗПП) використано раніше виведені [13-16] емпіричні співвідношення, що враховують ефективний тиск і пористості:

$$\beta_i^\phi = 1,939 - 4,32 \cdot 10^{-3} \cdot p_i + 0,27 \cdot \phi_i \cdot (p_i)^{-0,186}; i = \overline{1, n}; \quad (26)$$

$$\beta_i^c = 2,032 + 0,482 \cdot 10^{-3} \cdot p_i + + 6,367 \cdot 10^{-16} \cdot \phi_i \cdot (p_i)^{0,112}; i = \overline{1, n}. \quad (27)$$

Параметри приведені до безрозмірних одиниць.

Зокрема, для розрахунку модуля зсуву для довільного флюїдонасиченого прошарку розрізу свердловин території Західного нафтогазоносного регіону отримано вираз:

$$\mu_i^\phi = \frac{3}{4} \cdot (V_{pi}^\phi)^2 \cdot \left[(1-\phi_i) \cdot \rho^T + \phi_i \cdot \rho_i^\phi \right] - - 1/\left[1,939 - 4,32 \cdot 10^{-3} \cdot p_i + 0,27 \cdot \phi_i \cdot (p_i)^{-0,186} \right] \Bigg\}, \quad (28) \\ i = \overline{1, n}.$$

Для ЗЗПП вирази для обчислення швидкостей пружних хвиль (23), (24) записуємо з використанням виразів (26)-(28).

Прикладом узгодженості результатів застосування методики з даними досліджень інших авторів може бути дослідження нами розрізу розвідувальної свердловини З-Бучачська на інтервалі глибин 0,4÷2250 м (див. рис. 1-3).

Для цієї свердловини раніше за результатами проведених спеціалістами Інституту геології і геохімії горю-

чих

$$\Phi_1 = \left| \sqrt{\frac{1}{\rho_1^T \cdot \beta_1^c} + \frac{4}{3} \cdot \frac{\mu_1^\phi}{\rho_{o1}}} - V_1^{AK(CK)} \right|, i = 1;$$

чих копалин НАН України (ІГГГК) досліджень [19] у розрізі виділено та проінтерпретовано 116 пластів товщиною від 2-3 до 20-30 м. Пластів промислового нафтогазонасичення не знайдено. 29 пластів – водонасичених. До глибини 98,4 м даних інтерпретації не надається через їх недостовірність.

Використавши наявні дані АК, ми детально (з кроком 0,2 м) дослідили розріз свердловини, практично, з перших метрів глибини. Прораховано більше 11 тис. умовних прошарків. При цьому, розташовані у розрізі пачки умовних прошарків з ідентичними петрофізичними характеристиками відображають реальні шари порід.

На основі міжсвердловинної кореляції, літолого-стратиграфічного поділу та проведених нами розрахунків здійснено порівняльний аналіз визначених за нашою методикою параметрів розрізу з даними ІГГГК [19]. На рис. 1-3 показано таке порівняння для інтервалу глибин 253,8÷266,4 м. Тут (рис. 1) наведено значення розрахованих пружних параметрів порід і прогнозний тип заповнювача пор для кожного з прошарків цього інтервалу, на рис. 2 – графіки поведінки на цьому інтервалі глибин швидкостей пружних хвиль (V_s , V_p) та їх співвідношення (V_s/V_p), на рис. 3а – характеристики інтервалів розрізу за даними [19], на рис. 3б – інтервали глибин для прошарків з відповідним спрогнозованим за нашою методикою наповнювачем пор (поколонково: синім – інтервали з водою, коричневим – з газопроявами). Інтервал, для якого результати наших детальних досліджень за методикою наведено на рис. 1, 2 і 3б, на рис. 3а виділено червоним овалом. Відтінки синього на рис. 1 є індикаторами співвідношення V_s/V_p для водонасичених прошарків порід (світлий відтінок – до 0,50, темніший – 0,51÷0,59); при значеннях $V_s/V_p \geq 0,60$ прогнозується заповнювач пор – газ (відтінки коричневого). Інтервалам з визначенням у ІГГГК типом флюїдонасичення (рис. 3а) у колонках на рис. 3б відповідають рядки інтервалів глибин (пачок умовних прошарків) з визначенням за методикою типом флюїдонасичення, виділені темним кольором.

При цьому, за нашими результатами, виявлено три прошарки з прогнозним заповнювачем пор – газом, виділені на рис. 1, і 3б жовтим кольором.

Подаючи коротко результати порівняльного аналізу наведених даних, відзначимо, що показаний на рис. 1 досліджений інтервал глибин нами розділено на 64 умовні прошарки відповідно до кількості даних інтервального часу. За нашою методикою, 61 з них визначено водонасиченими. Отже, тип флюїдонасичення за результатами обох досліджень загалом співпадає, що наочно підтверджує достовірність нашого прогнозування. Це ж підтвер-

джується узгодженням (у межах відхилень у 9,6%) значень пористості для відповідних інтервалів (наприклад, 6,10% за даними ІГГГК і 6,69% за нашими розрахунками для розглянутого інтервалу). А з урахуванням відомого поправочного коефіцієнта 0,9 (поправка у визначенні

пористості ϕ за даними АК за вплив характеру насичення пор (залишкове газонасичення) і розсіяної глинистості [17]), таке значення ϕ , за нашими розрахунками становить 6,02%, що практично (з точністю до 1,3%) співпадає з експериментальними даними.

Наповнювач	H, м	ϕ , %	V_p , м/с	V_s , м/с	V_s/V_p	ρ , кг/м ³
вода	253,8	8,22	4033,32	1773,42	0,4397	2540,60
вода	254,0	0,37	4603,12	2506,35	0,5445	2675,60
вода	254,2	4,22	4311,57	2112,40	0,4899	2609,40
вода	254,4	3,13	4406,33	2244,30	0,5093	2628,20
вода	254,6	1,70	4508,03	2434,97	0,5401	2652,80
...	...	...	...	...	...	...
вода	255,8	6,68	4130,34	1884,49	0,4563	2567,20
вода	256,0	5,93	4181,43	1945,89	0,4654	2580,00
вода	256,2	0,05	4612,64	2264,58	0,4910	2681,10
газ	256,4	3,03	3528,98	2237,37	0,6340	2629,80
вода	256,6	6,33	4154,00	1913,00	0,4605	2573,20
...	...	...	...	...	...	...
вода	257,6	2,54	4462,34	2326,58	0,5214	2638,40
вода	257,8	3,12	4407,91	2247,92	0,5100	2628,40
вода	258,0	0,21	4645,20	2445,50	0,5265	2678,50
вода	258,2	1,15	4551,39	2506,70	0,5508	2662,30
вода	258,4	1,04	4610,80	2534,91	0,5498	2664,10
газ	258,6	4,54	3361,96	2121,89	0,6311	2604,00
вода	258,8	2,32	4470,81	2354,00	0,5265	2642,00
...	...	...	...	...	...	...
вода	260,6	11,89	3844,26	1585,72	0,4125	2477,60
вода	260,8	1,27	4539,56	2492,51	0,5491	2660,20
вода	261,0	2,96	4423,29	2271,20	0,5135	2631,20
вода	261,2	7,66	4068,33	1816,30	0,4464	2550,20
вода	261,4	4,52	4288,73	2085,24	0,4862	2604,30
вода	261,6	2,30	4474,08	2359,69	0,5274	2642,50
вода	261,8	1,70	4508,88	2438,18	0,5408	2652,80
вода	262,0	5,60	4205,96	1979,26	0,4706	2585,60
...	...	...	...	...	...	...
вода	262,6	5,24	4233,17	2013,77	0,4757	2591,90
вода	262,8	11,33	3870,65	1612,11	0,4165	2487,10
газ	263,0	12,93	2760,24	1687,25	0,6113	2459,60
вода	263,2	5,00	4251,38	2037,34	0,4792	2596,00
вода	263,4	4,54	4287,04	2083,92	0,4861	2603,90
вода	263,6	2,86	4432,59	2285,56	0,5156	2632,80
вода	263,8	11,28	3873,47	1615,40	0,4170	2488,10
...	...	...	...	...	...	...
вода	265,0	3,72	4355,58	2177,27	0,4999	2618,00
вода	265,2	7,54	4076,79	1827,97	0,4484	2552,30
вода	265,4	12,55	3803,30	1561,11	0,4105	2466,10
вода	265,6	6,72	4129,55	1888,79	0,4574	2566,50
вода	265,8	0,04	4621,29	2309,28	0,4997	2680,70
вода	266,0	0,50	4600,98	2532,81	0,5505	2673,30
вода	266,2	0,26	4651,45	2494,73	0,5363	2677,00
вода	266,4	0,44	4651,54	2545,23	0,5472	2673,80

Рис. 1. Фрагмент числових результатів розширеного й уточнюючого розрахунку за методикою значень пружних параметрів порід і визначення типу прогнозного заповнювача пор одного з інтервалів розрізу свердловини 3-Бучачська (пояснення в тексті)

Результати, отримані за прогнозною методикою (рис. 1-3), узгоджуються з результатами геологічних і петрофізичних досліджень розрізу цієї свердловини (рис. 3а). Більше того, вони у разі більш деталізовані, що можна побачити на рис. 1, де жовтим виділено ви-

явлені прошарки з газом (а), відтінками синього – водонасичені прошарки з різними пружними характеристиками. Отриманий повний набір пружних параметрів по всьому розрізу детально описано й проаналізовано у роботах [13-16].

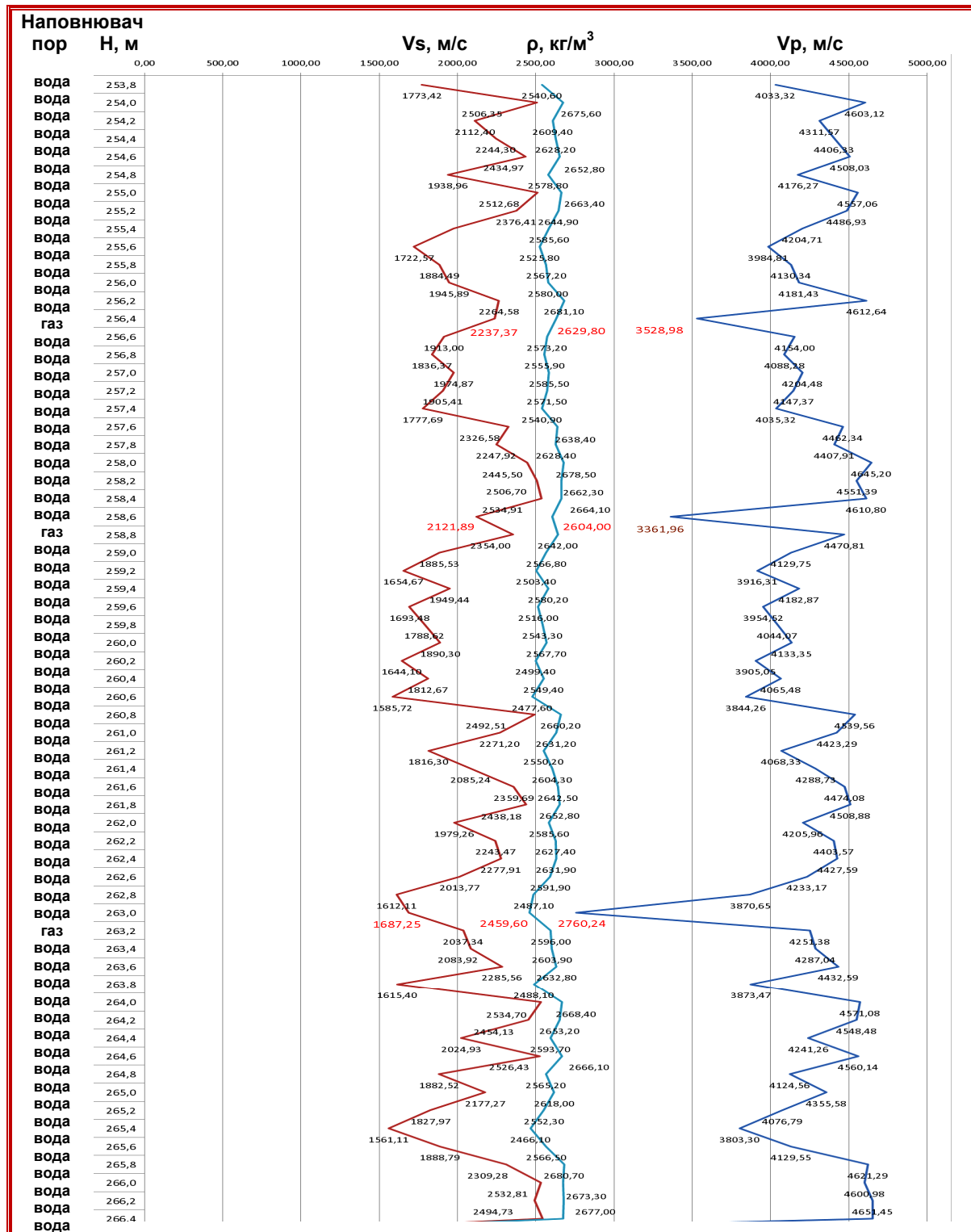


Рис. 2. Фрагмент графічних результатів розширеного та уточнюючого розрахунку за методикою значень деяких параметрів порід одного з інтервалів розрізу свердловини 3-Бучачська (пояснення в тексті)

Висновки. Підсумовуючи зазначимо, що у роботі, вперше у рамках розробки методики оцінки наявності порід-колекторів у породах розрізу свердловин та прогнозування типу наповнювача порід-колекторів, представлено узагальнені вирази для розрахунку стисливості та співвідношень для визначення водонафтогазонасиченості порід розрізів свердловин довільного регіону за наявності бази параметричних даних. Задіяний математичний апарат оптимально поєднує простоту підходу з максимально повним урахуванням пружних властивостей досліджуваного середовища.

Відмітною особливістю методики є те, що тут завдяки використанню адекватної математичної моделі отримано повний опис пружних і колекторських характеристик порід розрізу (модулі стисливості (β), зсуву (μ), Юнга (E), об'ємного стиску (K), коефіцієнта Пуассона (ν), швидкостей пружних хвиль (V_s , V_p), параметра V_s/V_p , густини (ρ), тиску (p)) за даними одного каротажу (АК або СК). Дані інших каротажів (зокрема, гамма-каротажу) використовуються за відсутності даних АК/СК чи для побудови кореляційних співвідношень з метою їх подальшого використання для дослідження подібних розрізів.

Бучач 30-06-2013 загальний									
Дослідження ІГГК НАН України								Дослідження автора (Скакальська)	
П о р. №	Вік	Інтервал,		Н,	K _п ^{AK}	Літологія	Насичення	0,04÷56,8м	Прогнозний наповнювач пор
		м		м	%				Вода
1	D1	98,4	101,4	3	8	Вапняк		57÷770 м	6,2-6,4; 91,4-91,6; 92,2-93,6; 93,8-99,6;
2	D1	107,4	110,6	3,2		Алевроліт			4,4-6,2; 6,4-91,4; 91,6-92,2; 93,6-93,8;
3	D1	113,6	115,8	2,2		Вапняк глинистий			98,4-99,6; 100,8-101,0; 101,4-101,6;
4	D1	119,6	124	4,4		Вапняк			107,4-110,6;
5	D1	134,4	139,4	5		Вапняк			113,6-115,6;
6	D1	143,4	148	4,6		Вапняк глинистий			115,6-116,0;
7	D1	155	162	7		Вапняк			119,6-121; 121,2-123,8; 124,0-124,2;
8	D1	184	188	4	7,5	Пісковик вапнистий			134,4-136; 136,2-138,2; 138,4-139,6;
9	D1	191,6	194,8	3,2	7	Пісковик вапнистий			143,4-145,6; 145,8-146,6; 146,8-147,8; 148,0-148,2;
10	D1	203	207,2	4,2	9	Пісковик вапнистий			145,6-145,8; 147,8-148;
11	D1	214,8	216,4	1,6		Вапняк			155,0-156,2; 156,4-161,8;
12	D1	222,2	227,2	5	6	Пісковик глинистий			162,0-162,2;
13	D1	249,2	252,3	3,1		Пісковик вапн. ущ.			184,0-184,8; 185,0-186,4; 186,0-187,0; 187,2-187,4; 187,8-188,2;
14	D1	253,8	266,4	12,6	6,10	Пісковик вапн. ущ.	водонасичений		191,6-193,6; 194,6-194,8;
15	D1	276	278,4	2,4	6	Пісковик вапн. ущ.			193,6-194,6; 194,8-195;
16	D1	286,6	289,6	3	6,5	Пісковик вапн. ущ.			203,0-207,2;
а								б	

Рис. 3. Фрагмент табличних результатів (б) прогнозування за методикою типу заповнювача пор порід одного з інтервалів розрізу свердловини 3-Бучачська порівняно з даними ІГГК [19] (а) (пояснення в тексті)

Наведений приклад розрахунків для свердловини 3-Бучачська наочно підтверджує достовірність прогнозування типу флюїдонасичення пор порід у розрізах свердловин за розробленою методикою. Це саме підтверджується співпадінням значень пористості та швидкостей для відповідних інтервалів її розрізу з результатами експериментальних досліджень.

Це ж підтверджують результати апробації розробленої методики на даних ряду свердловин Ліщинської, Бучачської, Лудинської, Залужанської, Зарічненської (Зарічненської), Никловицької структур Західного нафтогазоносного регіону України (див. [13-16]), де отримано загальне співпадіння щодо типу прогнозованого флюїду, а щодо значень пористості – у межах відхи-

лень у, щонайбільше, 6-9% від таких самих значень за даними інших авторів.

Практична значимість наведених результатів полягає в тому, що виведені співвідношення забезпечують надійне прогнозування водонафтогазонасиченості порід-колекторів і, тим самим, ефективність пошуку вуглеводневих покладів у розрізах свердловин. Перспективою цих досліджень є подальше залучення до комплексного аналізу за методикою даних інших видів каротажу.

Список використаних джерел

1. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу: монографія [Текст] / Г. Т. Продайвода, С. А. Вихва, І. М. Безродна, Т. Г. Продайвода. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. – 367 с.

2. Вербицкий Т. З. Физическая природа нелинейной упругости геологических сред с фазовыми микроненодностями и особенности распространения в них упругих волн [Текст] / Т. З. Вербицкий // Геофиз. сб. АН УССР. – 1977. – Вып. 75. – С. 16-24.
 3. Вербицкий Т. З. Нелінійна пружність гірських порід – основа вивчення фізико-механічного стану земної кори і флюїдонасичення пластів [Текст] / Т. З. Вербицкий // Праці НТШ. Геофізика. – 2002. – Т. VIII. – С. 99-109.
 4. Вижва С. А. Петрофізичні дослідження як основа для розробки моделі структури пустотного простору складнопобудованих карбонатних порід-колекторів / С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, І. М. Безродна [Текст] // Перспективи нашоування та збереження енергетичних ресурсів України: 36. наук. праць. – Івано-Франківськ : Факел. – 2006. – С. 110-121.
 5. Вижва С. А. Прогноз продуктивності складно побудованих порід-колекторів нафти і газу за результатами інверсії даних ГДС / С. А. Вижва, І. М. Безродна [Текст] // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 41-43.
 6. Карпенко О. М. Науково-методичні засади оцінки ємнісних властивостей порід тонкошаруватих розрізів родовищ вуглеводнів за даними геофізичних досліджень [Текст]: дис... д-ра геол. наук: 04.00.22 / Олександр Миколайович Карпенко; Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – К., 2005. – 336 с.
 7. Комплекс геофизических исследований скважин Самотлорского месторождения для оценки ФЕС и насыщения коллекторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.doccity.com/ru/83e2297a43fb1dfbaaa08d0f83df2a66/416138/> (23.06.2014).
 8. Красножон М. Д. Комплексна інтерпретація даних геофізичних досліджень свердловин і сейсморозвідки з використанням технології "Геопшук" [Текст] / М. Д. Красножон, В. О. Ручко, К. О. Ручко // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2013. – № 4. – С. 104-111.
 9. Математическое моделирование в сейсморазведке [Текст] / Т. З. Вербицкий, Р. С. Починайко, Ю. П. Стародуб, О. С. Федоришин [Текст]. – К.: Наук. думка, 1975. – 275 с.
 10. Метод визначення фільтраційно-ємнісних властивостей складно-побудованих порід-колекторів за даними комплексних геофізичних і гідродинамічних методів дослідження свердловин [Текст] / Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва, І. М. Безродна, Г. Т. Продайвода // Моніторинг небезп. геол. проц. та еколог. стану сер.: Матер. Всеукр. конф. – К., 2006. – С. 55-56.
 11. Петкевич Г. И. Исследование упругих свойств пористых геологических сред, содержащих жидкости [Текст] / Г. И. Петкевич, Т. З. Вербицкий. – К.: Наук. думка, 1965. – 76 с.
 12. Розловська С. Є. Зіставлення різних способів визначення коефіцієнта пористості теригенних колекторів з врахуванням глинистості за даними акустичного каротажу [Текст] / С. Є. Розловська, Н. С. Ганженко, К. І. Муц // Геодинаміка. – К., 2013. – № 1(14). – С. 154-162.
 13. Скакальська Л. В. Методика прогнозування петрофізических характеристик і водонепропускаючості розріза (на прикладі даних скважини 3-Бучачська, Україна) [Текст] / Л. В. Скакальська, А. В. Назаревич // Межотраслевой институт "Наука и образование": Ежемесячный научный журнал. – Екатеринбург: Межотраслевой институт "Наука и образование", 2014. – №5. – С. 25-29.
 14. Скакальська Л. В. Прогнозування нафтогазоводонасиченості порід різної літології та геодинамічного генезису у розрізах свердловин [Текст] / Л. В. Скакальська, А. В. Назаревич // Геодинаміка. – К., 2015. – № 1(18). – С. 102-119.
 15. Скакальська Л. В. Прогнозування флюїдонасичення порід-колекторів за даними гамма-каротажу [Електронний ресурс] / Л. В. Скакальська, А. В. Назаревич // Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти: Матер. XII Міжнар. конф., 12-15 травня 2015 р., м. Київ. – Електрон. дан. і прог. – Київ, 2015. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. вимоги: ПК від 486 DX 66 МГц; RAM 1616 Мб; WinWord 97-2003; зв. плата. – Загол. з етикетки диску.
 16. Скакальська Л. Прогнозування фізичних та колекторських властивостей порід-колекторів у геологічних структурах із нетрадиційним газом [Текст] / Л. Скакальська // Вісник Київського університету. Геологія. – 2014. – Вип. 1(64). – С. 35-40.
 17. Солодкий Є. Пористість газонасичених колекторів за даними ГДС [Текст] / Є. Солодкий, О. Карпенко // Вісник Київського університету. Геологія. – 2013. – № 1(60). – С. 20-24.
 18. Хекало П. І. Прогнозування фізичних і колекторських властивостей гірських порід за теоретико-емпіричними залежностями [Текст] / П. І. Хекало // Геофиз. журн. – 2008. – 30, № 6. – С. 151-160.
 19. Kurovets I. Geological and physical-chemical characteristics of lower Paleozoic deposits of Volyno-Podillya, Western Ukraine [Text] / I. Kurovets, D. Drygant, I. Naumko et al. // Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. – 2012. – Vol. 449. – P. 119-130.
 20. Zhen Yu. A High Resolution Method for Fluid Prediction Based on Geostatistical Inversion [Электронный ресурс] / Yu Zhen, He Jing // International Journal of Geophysics. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 845646. – Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1155/2013/845646>.
- References**
1. Prodayvoda, H.T., Vyzhva, S.A., Bezrodna, I.M., Prodayvoda, T.H. (2011). Heofizychni metody otsinky produktyvnosti kolektoriv nafty i hazu: monohrafiya [Geophysical methods of estimation of the productivity of oil and gas collectors: monography]. Kyiv: Kyivskyi universytet – Kyiv University, 367 p. [In Ukrainian].
 2. Verbitskiy, T.Z. (1977). Fizicheskaya priroda nelineynoy uprugosti geologicheskikh sred s fazovymi mikroneodnorodnostyami i osobennosti rasprostraneniya v nih uprugih voln [Physical essence of nonlinear elasticity of geological media with phase micro-inhomogeneities and peculiarities of elastic waves propagation in them]. Geofiz. sb. AN USSR – AS USSR Geophysical collection, 75, 16-24. [In Russian].
 3. Verbitskiy, T.Z. (2002). Nelineina pruzhnist hirs'kykh porid – osnova vyvchennia fizyko-mekhanichnoho stanu zemnoi kory i fluidonasychnnia plastiv [Nonlinear elasticity of rocks as the basis for studying of physical and mechanical state of the Earth's crust and the layers fluid saturation]. Pratsi Naukovoho tovarystva im. Shevchenka: Heofizyka: Seysmologichni doslidzhennia – Proc. of the Shevchenko Scientific Society: Geophysics: Seismological researches, 8, 99-109. [In Ukrainian].
 4. Vyzhva, S.A., Prodayvoda, H.T., Bezrodna, I.M. (2006). Petrofizychni doslidzhennia yak osnova dlya rozrobky modeli struktury pustotnoho prostoru skladnopobudovanykh karbonatnykh porid-kolektoriv [Petrophysical studies as the basis for the development of model of structure of hollow space of complex carbonate reservoir rocks]. Perspektivy naroshchuvannya ta zberezhennia enerhetichnykh resursiv Ukrayiny: Zb. nauk. Prats' – Prospects of increasing and preserving the energy resources of Ukraine. Proceedings. (pp. 110-121). Fakel – Torch. [In Ukrainian].
 5. Vyzhva, S.A., Bezrodna, I.M. (2011). Prohnoz produktyvnosti skladno pobudovanykh porid-kolektoriv nafty i hazu za rezul'tatamy inversiyi danykh HDS [Prognosis of the productivity of complex rock-collectors of oil and gas by inversion of data of the wells geophysical research (WGR)]. Geodynamics, 2(11), 41-43. [In Ukrainian].
 6. Karpenko, O.M. (2005). Naukovo-metodychni zasady otsinky emnisnykh vlastyvostey porid tonkosharuvatykh rozriziv rodovyshch vuglevodniv za danymy geofizychnykh doslidzhen' [Scientific-methodical principles of estimation of reservoir properties of rocks in the thin-layered sections of hydrocarbonic deposits by the data of geophysical researches]. Doctor's thesis (Geophysics). Vernadsky National Library of Ukraine, Kyiv, 336 p. [In Ukrainian].
 7. Kompleks geofizicheskikh issledovaniy skvazhin Samotlorskogo mestorozhdeniya dlya ocenki FES i nasyshcheniya kolektorov [Geophysical complex for Samotlorskyy basen to estimate the fluid saturation of rock collectors]. (n.d.). doccity.com. Retrieved from: <http://www.doccity.com/ru/83e2297a43fb1dfbaaa08d0f83df2a66/416138/>. [In Russian].
 8. Krasnozhen, M.D., Ruchko, V.O., Ruchko, K.O. (2013). Kompleksna interpretatsiya danykh geofizychnykh doslidzhen' sverdlolvyn i seysmorozvidky z vykorystannnyam tehnologiyi "Geoposhuk" [Complex interpretation of data of the wells geophysical researches and seismic logging with the use of "Geoposhuk" technology]. Zbirnyk naukovih prats UkrDGRi – Collected papers of UkrSGPI, 4, 104-111. [In Ukrainian].
 9. Verbitskiy, T.Z., Pochinajko, R.S., Starodub, Ju.P., Fedorishin, O.S. (1985). Matematicheskoe modelirovanie v seysmorazvedke [Mathematical modeling in seismic prospecting]. Kyiv: Naukova dumka – Scientific thought, 276 p. [In Russian].
 10. Prodayvoda, H.T., Vyzhva, S.A., Bezrodna, I.M., Prodayvoda, T.H. (2006). Metod vyznachennia filtratsiino-iemnisnykh vlastyvostey skladnopobudovanykh porid-kolektoriv za danymy kompleksnykh heofizychnykh i hidrodinamichnykh metodiv doslidzhennia sverdlolvyn [Method of determining the filtration-capacitive properties of complicately built rock-reservoirs by the data of complex geophysical and hydrodynamic methods of well research]. Monitorynh nebezp. heol. prots. ta ekoloh. stanu ser. [Monitoring of dangerous geological processes and ecological state of environment]. Materialy Vseukrayinskoy konferentsiyi – Proceedings of the All-Ukrainian conference. (pp. 55-56). Kyiv. [In Ukrainian].
 11. Petkevich, G.I., Verbitskiy, T.Z. (1965). Issledovanie uprugih svoystv poristykh geologicheskikh sred, soderzhashchih zhidkosti [Studies of elastic properties of porous geological media containing liquids]. Kyiv: Naukova dumka – Scientific thought, 76 p. [In Russian].
 12. Rozlovskaya, S.E., Ganzhenko, N.S., Muts, K.I. (2013). Zistavleniya riznih sposobiv vyznachennia koeffitsienta porystosti terygennykh kolektoriv z vrahuvannym glynystosti za danymy akustychnogo karotazhu [Comparison of different methods of determination of porosity coefficient of terrygenic collectors taking into account clayiness by the data of the acoustic logging]. Geodynamics, 1(14), 154-162. [In Ukrainian].
 13. Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V. (2014). Metodika prognozirovaniya petrofizicheskikh harakteristik i vodoneftegazoznosnosti razreza (na primere danykh skvazhiny 3-Buchachskaya, Ukraina) [Methods of prediction of petrophysical characteristics of oil-gas-water-saturation of well's log (on example of data of the 3-Buchachskaya well, Ukraine)]. Ekaterinburg: Mezhotraslevoj institut "Nauka i obrazovanie" – Yekaterinburg: Interdisciplinary Institute "Science and education", 5, 25-29. [In Russian].
 14. Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V. (2015). Prohnozuvannya naftogazovodonasychnosti porid riznoyi litolohiyi ta heodynamichnoho henezysu u rozrizakh sverdlolvyn [Predicting of oil-gas-water-saturation of rocks of different lithology and geodynamic genesis in open-casts of wells]. Geodynamics, 2(15), 329-331. [In Ukrainian].
 15. Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V. (2015). Prohnozuvannya flyuidonasychnosti porid-kolektoriv za danymy hamma-karotazhu [Prediction of fluid saturation of rock-reservoirs by the gamma-ray log]. Heoinformatyka: teoretychni ta prykladni aspekty [Geoinformatics: theoretical and applied aspects].

Theoretical and Applied Aspects]. Materialy XII Mizhnarodnoyi konferentsiyi – Proceedings of XII International Conference, May 12-15, 2015. Kyiv. [In Ukrainian].

16. Skakalska, L.V. (2014). Prohnozuvannya fizychnykh ta kolektors'kykh vlastyivostey porid-kolektoriv u heolohichnykh strukturakh iz netradytsiynym hazom [Prediction of physical and reservoir properties of rock-reservoirs in unconventional gas-bearing geological structures]. Visnyk Kyivskoho universytetu. Heolohiya – Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology, 1(64), 35-40. [In Ukrainian].

17. Solodkyi, Ye., Karpenko, O. (2013). Porystist hazonasychenykh kolektoriv za danyymy HDS [Porosity of gas-saturated reservoir according to GDS data]. Visnyk Kyivskoho universytetu. Heolohiya – Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology, 1(60), 20-24. [In Ukrainian].

18. Khekalov, P.I. (2008). Prohnozuvannya fizychnykh i kolektors'kykh vlastyivostey hirs'kykh porid za teoretyko-empyrychnymy zalezhnostyamy [Prediction of physical and reservoir properties of rocks by theoretical and empirical relationships]. Heofiz. zhurn. – Geophys. J., 30(6), 151-160. [In Ukrainian].

19. Kurovets, I., Drygant, D., Naumko, I. et al. (2012). Geological and physical-chemical characteristics of lower Paleozoic deposits of Volyn-Podillya, Western Ukraine. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 449, 119-130.

20. Zhen, Yu, Jing, He. (2013). A High Resolution Method for Fluid Prediction Based on Geostatistical Inversion. Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Geophysics, vol. 2013, Article ID 845646, 7 p. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/845646>.

Надійшла до редколегії 15.01.16

L. Skakalska, Leading Engineer

E-mail: Skakalska.sbigph@gmail.com;

A. Nazarevych, Associate Prof.

E-mail: nazarevych.a@gmail.com

Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics

National Academy of Sciences of Ukraine

3-b Naukova Str., Lviv, Ukraine 79060

GENERALIZED EQUATIONS FOR METHOD OF PREDICTING OF ROCKS OIL-GAS-WATER-SATURATION IN THE WELLS OPEN-CASTS

The aim of the paper is to present the mathematical calculations used in the author's methodology for predicting the filler type in the rock pores of wells open-casts in a generalized form. For creating a method of predicting oil-water-gas-saturation of rock-collectors in the well open-casts we used adequate mathematical model of rock. On the base of this model we developed the general expressions for calculation of elastic waves velocities, porosity and density for rock as the two-phase medium. The model includes the formulae for fluid-saturated and dry rocks. We used the previously derived theoretical and empirical relations for presentation of required characteristic values for the rock solid phase and expressions for calculation of elastic parameters of rocks in the well open-casts. A derivation of the generalized relations for predicting the fluid type in the pores of rock-collectors of wells open-casts and for the layerwise determination of elastic characteristics of rocks are presented. The features of the methodology application are illustrated by concrete examples of calculations based on acoustic logging data. In order to authors' predicting method the general expressions for the calculation of oil-gas-water-saturation of rocks in well open-casts are derived. The relations of this detection of collectors in rocks of the well open-cast and the differentiation of the rock pores filler types have been obtained for the first time. The mathematical apparatus optimally combines simplicity of the approach with involving the elastic properties of the investigated medium. The derived relations provide a reliable prediction of the rock-collectors' oil-gas-water-saturation and an effective search for hydrocarbon deposits in the well open-casts.

Keywords: logging, rock-collectors, oil-water-gas-saturation of rock, shear modulus, compressibility, density, functional.

Л. Скакальська, вед. инж.

E-mail: Skakalska.sbigph@gmail.com;

А. Назаревич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотруд.

E-mail: nazarevych.a@gmail.com

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

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

ОБОБЩЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОНЕФТЕГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ПОРОД РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН

Цель: представить примененный в авторской методике прогнозирования типа наполнителя пор пород разрезов скважин математический аппарат в обобщенном виде.

Методика: для создания методики прогнозирования водонефтегазонасыщенности пород-коллекторов в разрезах скважин использована адекватная математическая модель горной породы, на базе которой получены общие выражения для расчета скоростей упругих волн, пористости и объемной плотности двухфазной среды для флюидонасыщенных и сухих пород, а также ранее выведенные теоретические и эмпирические соотношения для представления необходимых в расчетах по методике характерных величин для твердой фазы пород и выражений для расчета упругих параметров пород разреза скважины.

Результаты: в статье представлен вывод обобщенных соотношений для прогнозирования типа флюида в порах пород-коллекторов разрезов скважин и послойного определения упругих характеристик пород. Особенности применения методики проиллюстрированы на конкретных примерах расчетов по данным акустического каротажа.

Научная новизна: в рамках авторской прогнозной методики выведены обобщенные выражения для расчета водонефтегазонасыщенности пород разрезов скважин. Соотношения такого рода для выявления наличия коллекторов в породах разреза скважины и различения типа наполнителя пор пород получены впервые. Математический аппарат оптимально сочетает простоту подхода с максимально полным учетом упругих свойств исследуемой среды.

Практическая значимость: выведенные соотношения обеспечивают надежное прогнозирование водонефтегазонасыщенности пород-коллекторов и, тем самым, эффективность поиска углеводородных залежей в разрезах скважин.

Ключевые слова: каротаж, порода-коллектор, водонефтегазонасыщенность пород, модуль сдвига, сжимаемость, плотность, функционал.

УДК 550.8.05/551.735 (477.6)

Н. Несіна, пров. геолог
ТОВ "Вікоіл ЛТД"
вул. Кудрявський узвіз, 7, м. Київ, 04655 Україна
E-mail: natalia_nesina@bigmir.net

ПОШИРЕННЯ ПІЗНЬОСЕРПУХОВСЬКИХ БІОГЕРМІВ У ПІВДЕННО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ДОНО-ДНІПРОВСЬКОГО ПРОГИНУ (ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СЕЙСМОФАЦІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ)

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

Метою статті є демонстрація застосування сейсмофаціального аналізу в комплексі з даними геофізичного дослідження свердловин для картування фаціальних зон та реконструкції обстановок седиментації в пізньосерпуховський час.

На основі сейсмофаціального аналізу, здійсненого на Будьонівській, Надеждинській і Пархоменській площах піднасувної зони Північнодонецького насуву, вперше на цій території отримано детальну карту сейсмофацій, на якій чітко вирізняються області, що відповідають прогнозованому рифогенному масиву та зарифовій лагуні, а також сейсмофаціям, які характеризують фаціальні зони морської авандельтової та більш глибоководної формації.

Узагальнення отриманих нами та опублікованих раніше даних сприяло виявленню найголовніших просторово-часових закономірностей поширення карбонатних споруд (біогермів) у межах території досліджень та дозволило побудувати доповнену й деталізовану схему поширення пізньосерпуховських біогермів на північних окраїнах Донбасу та у південно-східній частині Північного борту Дніпровсько-Донецької западини з літологічною характеристикою мікрофрових зон.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, північні окраїни Донбасу, серпуховські відклади, рифогенні масиви, карбонатні споруди, сейсмофації.

Вступ. Територія досліджень розміщена у південно-східній частині Доно-Дніпровського прогину (ДДП), що включає територію Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) та Складчастого Донбасу. Тут розташована зона зчленування південно-східної частини Північного борту ДДЗ та північних окраїн Донбасу. З південного заходу територія обмежена Північнодонецьким насувом та Північним крайовим розломом, на північному сході переходить у південно-західне крило Воронежської антеклиз (Старобільсько-Міллерівська монокліналь).

У межах території досліджень палеозойські відклади у складі нижнього, середнього та верхнього відділів карбону незгідно залягають на еродованій поверхні докембрійського фундаменту. Поверхня фундаменту залягає на різній глибині – від 1800 м на північному сході (Краснодеркульська площа) до 4200-4300 м на південному заході (Кримська площа), плавно занурюючись на південь та південний захід. Відповідно, кам'яновугільні відклади поступово виклинюються в північному-

північно-східному напрямку, в бік Воронежського докембрійського масиву. Порооди карбону незгідно перекриваються породами тріасу та більш молодими утвореннями мезо-кайнозою. Моноклінальне залягання осадових товщ ускладнюється субширотними й субмеридіональними розломами, пов'язаними зі ступінчасто- і зворотнеступінчасто-блоковою будовою фундаменту.

За нафтогазогеологічним районуванням територія досліджень відноситься до нафтогазоносного району Північного борту, Красноріцького та Лисичанського газоносних районів (рис. 1). Поклади вуглеводнів розміщуються у широкому стратиграфічному діапазоні – від нижньокам'яновугільних (C_{1S2} , світа C_1^4) до тріасових (Краснопопівське родовище). Виявлено численні поклади вуглеводнів, пов'язані як з антиклінальними структурами, так і з пастками неантиклінального типу – рифогенними масивами й піщаними тілами барового та руслового генезису [9].

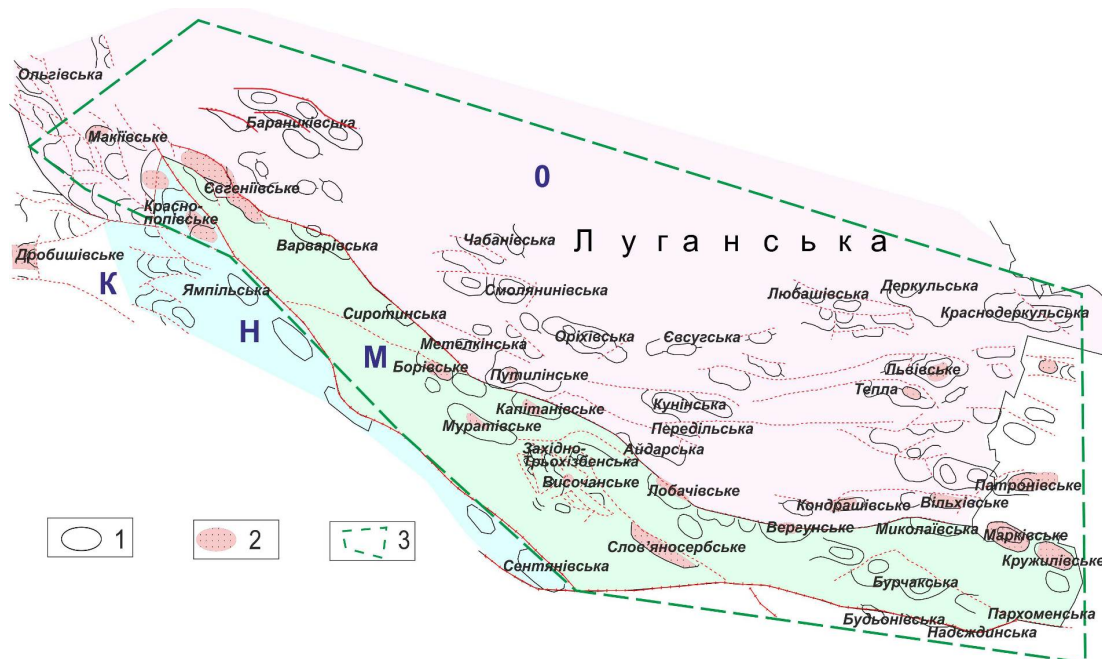


Рис. 1. Фрагмент тектонічної карти ДДЗ з елементами нафтогазогеологічного районування:

Умовні позначення: 1 – структури, 2 – родовища, 3 – територія дослідження; газоносні (ГР) і нафтогазоносні (НГР) райони Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області (НГО): К – Співаківський ГР, М – Красноріцький ГР, Н – Лисичанський ГР, О – Північного борту НГР

Історія дослідження верхньосерпуховських карбонатних споруд у південно-східній частині ДДП. У різні роки ХХ і нинішнього століття геолого-геофізичні дослідження проводились В. Поповим, Г. Володінім, В. Кислим, А. Мурічем, В. Бабадагли, А. Верейкіним, В. Полоховим, М. Верповським, В. Савицьким, Є. Бібером, В. Коломієць та ін. Починаючи з середини 50-х років минулого століття, тут здійснювалося структурно-пошукове, опорне та глибоке пошукове й розвідувальне буріння, проводились геофізичні дослідження. В результаті було закартовано Північнодонецький та інші насуви, зону Красноріцьких скидів, а також цілий ряд антиклінальних структур, чимало з яких виявились нафтогазоносними (родовища – Кримське (Височанське), Муратівське, Лобачівське, Вільхівське, Вергунське, Кружилівське, Краснопопівське, Євгенівське та ін.), було підтверджено газонасність зони Красноріцького скиду та спрогнозовано перспективність відкладів карбону в лежачому крилі Північнодонецького насуву.

До середини 70-х років минулого століття промислова нафтогазоносність північних окраїн Донбасу пов'язувалася з пластивими склепінними пастками Красноріцької зони антиклінальних структур – прирозломними брахіантиклінальними складками північно-західного простягання в опущених тектонічних блоках скидів Красноріцької зони. Після відкриття в 1976 р. Муратівського газового родовища, де промислові припливи було отримано з масивів рифогенних вапняків серпуховського ярусу нижнього карбону, в цьому регіоні відкрився новий напрямок пошукових робіт на нафту і газ. В наступні 15 років сейсморозвідувальними роботами було виявлено 20 окремих карбонатних тіл (рифогенних масивів), здебільшого в південній частині Старобільсько-Міллерівської монокліналі, на відстані до 10-20 км північніше лінійної зони Красноріцьких скидів [9]. Їхня промислова нафтогазоносність була встановлена на Муратівському, Путилінському, Чабанівському, Теплому (Львівському) та інших родовищах. У 70-і роки минулого століття на структурах зони Красноріцького скиду (Сиротинська, Борівська, Капітанівська, Трьохізбенська, Лобачівська, Вільхівська й Муратівська) за керном було встановлено наявність у серпуховському ярусі (світа C_1^4) змішаних тріщинно-кавернозно-порових та інших карбонатних колекторів товщиною від 80-100 м до 300-700 м. Було доведено високу перспективність верхньосерпуховських карбонатних масивів (органогенних споруд), багато публікацій присвячено дослідженням їхнього речовинного складу та просторово-часових закономірностей поширення. Відмічалось, що у пізньосерпуховський час осадонакопичення на цій території відбувалося на етапах ранньої та пізньої трансгресії в умовах мілководного шельфу, напівзакритих лагун та в застійних зонах, де накопичувались зарифові лагунні ангідриди [1, 3, 4, 5, 8, 9, 10].

Тривалий час вважалося, що в північно-західному напрямку пізньосерпуховське рифоутворення затухає [10], проте дослідження, проведені в межах північного борту ДДЗ, дозволили й тут виявити рифогенні споруди. Так, вивчення керну зі свердловин, пробурених на Макіївському газоконденсатному родовищі (розташоване у південно-східній частині північного борту ДДЗ), де раніше було виявлено газові поклади в горизонті М-3 (C_2m), засвідчило, що вапняки продуктивного горизонту С-5 (світа C_1^4) є біогермами товщиною 5,6 м, що формувались в умовах напівзакритих лагун з поганою циркуляцією води, а також біогерми, сформовані в умовах теплового моря з гарною циркуляцією, товщиною 2,5 м та 0,62 м [2].

У крайній північно-східній частині території сейсморозвідувальними дослідженнями, проведеними на Краснодеркульській площі [9], було виявлено субширотний вапняковий вал завтовшки 150-250 м, шириною 2,5-5,0 км і довжиною до 30 км західніше кордону з РФ. Відмічалось, що наявність вузького синклінального про-

гину, який, за результатами інтерпретації сейсморозвідувальних даних, відокремлює вал від розташованої північніше карбонатної платформи, означає, що вал може розглядатися як крайовий бар'єрний риф. Вивчення літології низів башкирського ярусу середнього карбону, серпуховсько-візейського й турнейського ярусів нижнього карбону, розкритих параметричною свердловиною № 5282, показав майже повністю карбонатний інтервал, складений ущільненими та закарстованими вапняками з рідкісними тонкими прошарками глинистих порід. На північ від Краснодеркульської площі за межами вапнякових масивів верхня частина серпуховського ярусу (світа C_1^4) має теригенно-карбонатний, переважно глинисто-карбонатний, літологічний склад. Уздовж південного крила крайового карбонатного валу відбувається фаціальне заміщення теригенно-карбонатного розрізу на повністю карбонатний.

За результатами сейсморозвідувальних робіт методом спільної глибинної точки (МСГТ), проведених на Мигринському родовищі, Західно-Ольшиній та Ольшиній площах, було здійснено прогноз і типізацію біогермних споруд у верхньосерпуховських відкладах. Виділено два типи біогермів, які контролюються структурами, що формувались на підняттях фундамента, та пов'язані з флексурами й похованими розломами. Відмічалось, що просторово біогермні споруди першого типу приурочені до валів північно-східного та північно-західного простягання, біогерми другого типу тяжіють до схилів виположених терас [11].

У 2011 р. за результатами пошукових сейсморозвідувальних робіт МСГТ був оконтурений прогнозний рифовий масив пізньосерпуховського віку (світа C_1^4) у лежачому крилі Північнодонецького насуву на Надеждинській та Будьонівській структурах, що розташовані в крайній південно-східній частині території досліджень. Проведення сейсмофаціального аналізу дозволило виділити ділянки розвитку порід різної фаціальної приналежності та скласти уявлення про морфологію й просторове розташування пізньосерпуховських біогермних споруд, що межують із зарифовою лагуною. За результатами комплексної інтерпретації встановлено, що прогнозний рифовий масив і зарифова лагуна на Надеждинській і Будьонівській площах належить до ранньотрансгресивного етапу пізньосерпуховської трансгресії [7].

Методика сейсмофаціального аналізу. В основі методів пошуків і досліджень біогермів лежить детальне стратиграфічне вивчення потенційно нафтогазоносних товщ з використанням сучасних комплексних методів інтерпретації даних 3D сейсморозвідки, геофізичних досліджень свердловин (ГДС), промислово-геофізичних даних. В Україні та за кордоном прогнозування й дослідження рифових масивів здійснюється на якісно новому рівні саме завдяки новим комплексним методам інтерпретації даних 3D сейсморозвідки. Деякі рифові масиви виразно проявляються на сейсмічних розрізах, для виявлення інших, разом зі свердловинними даними, застосовується параметричний аналіз хвильового поля, розраховуються куби миттєвих параметрів, когерентності тощо. Подібні методи інтерпретації, що надають можливість вивчати морфологію, характер залягання, контури карбонатних масивів, їх просторове розташування, визначати перспективи їхньої нафтогазоносності, показали свою ефективність у зарубіжній практиці [12, 13, 14].

Разом з тим, рифові тіла невеликих розмірів не завжди чітко ідентифікуються в сейсмічному полі, тому використання описаних вище методик може бути недостатнім для їх виявлення. В таких випадках проведення сейсмостратиграфічного (сейсмофаціального) аналізу в комплексі з літостратиграфічними, палеогеоморфологічними та іншими методами полегшує розв'язання цієї задачі.

Сейсмофаціальний аналіз на Надеждинській, Будьонівській і Пархоменській площах з метою реконструкції умов седиментації, прогнозування літофацій та оконтурення верхньосерпуховської карбонатної споруди, яка передбачалась за результатами попередніх досліджень [1, 5, 10], здійснювався за допомогою програмного продукту Stratimagic компанії Paradigm Geophysical.

В основі методу лежить виявлення кореляції між певною формою сейсмічної траси та літологією. Незважаючи на те, що прямої кореляції між ними не існує, аналіз зміни характеристик сейсмічних відбиттів у комплексі з даними ГДС дає можливість здійснити прогноз умов осадонакопичення та оцінити літологічний склад інтервалів дослідження.

Для інтервалу, що відповідає товщі світи C_1^4 (C_{1S2}), було застосовано класифікацію ділянок трас за їхньою формою з використанням технології нейронних мереж (Neural Network Technology – NNT), яка вважається найефективнішою групою процедур, що дозволяє визначати, аналізувати та інтерполювати детальні характеристики колекторів, не виявлених іншими способами.

Використовувались вхідні дані на рівні сейсмічного куба, структурних поверхонь по підшвах стратиграфічних комплексів і дані ГДС. Результати інтерпретації даних ГДС показали, що свердловини, пробурені на Надеждинській і Будьонівській площах, відкрили відклади світи C_1^4 у складі 30-метрових пачок зарифових лагунних ангідритів, а свердловина Пархоменська-1 – піщано-глинисті породи морської авандельтової формації [1].

Для обраного інтервалу було застосовано класифікацію за 5-ма класами. Реальні сейсмічні траси систематизувалися за формою; у подальшому визначалися

форми модельних трас, які послідовно порівнювались з реальними сейсмічними даними. В результаті проведеної класифікації було отримано карту розподілу сейсмофацій з набором модельних трас, що спільно описують різноманітність форм сигналів по всій площі в заданому інтервалі й відповідають п'ятьом сейсмофаціям.

Результати сейсмофаціального аналізу. На отриманій карті розподілу сейсмофацій (рис. 2) розрізняються ділянки, що відповідають зонам поширення порід ранньотрансгресивного комплексу світи C_1^4 : лагунним ангідритам, які розкриті свердловинами Надеждинська-1 і Будьонівська-1 (1); зоні піщано-глинистих порід морської авандельтової формації, розкритих свердловиною Пархоменська-1 (2); цоколю та нижній частині прогнозних карбонатних тіл (3); зоні глинистої товщі з прошарками алевролітів, рідше пісковиків – аналогічній нижній частині розрізу світи C_1^4 на Кружилівському родовищі (4); зоні відносно глибоководних порід у лежачому крилі Північно-Донецького насуву (5). Білою пунктирною лінією окреслено умовний контур прогнозного карбонатного масиву, що простежується у вигляді невеликого валу, випуклого у південному напрямку, що межує з областю поширення зарифових лагунних ангідритів [7]. На рис. 2 видно, що формування прогнозного рифогенного масиву контролювалося тектонічними порушеннями: ріст масиву відбувався в мілководно-шельфових умовах на піднятих тектонічних блоках, а зарифова лагуна розміщувалася північніше, в умовах застійної зони шельфу на опущених тектонічних блоках, утворених незгідними скидами субширотного простягання. За результатами інтерпретації сейсмічних матеріалів, карбонатний масив має слабогорбисту форму та сплюснену нижню границю.

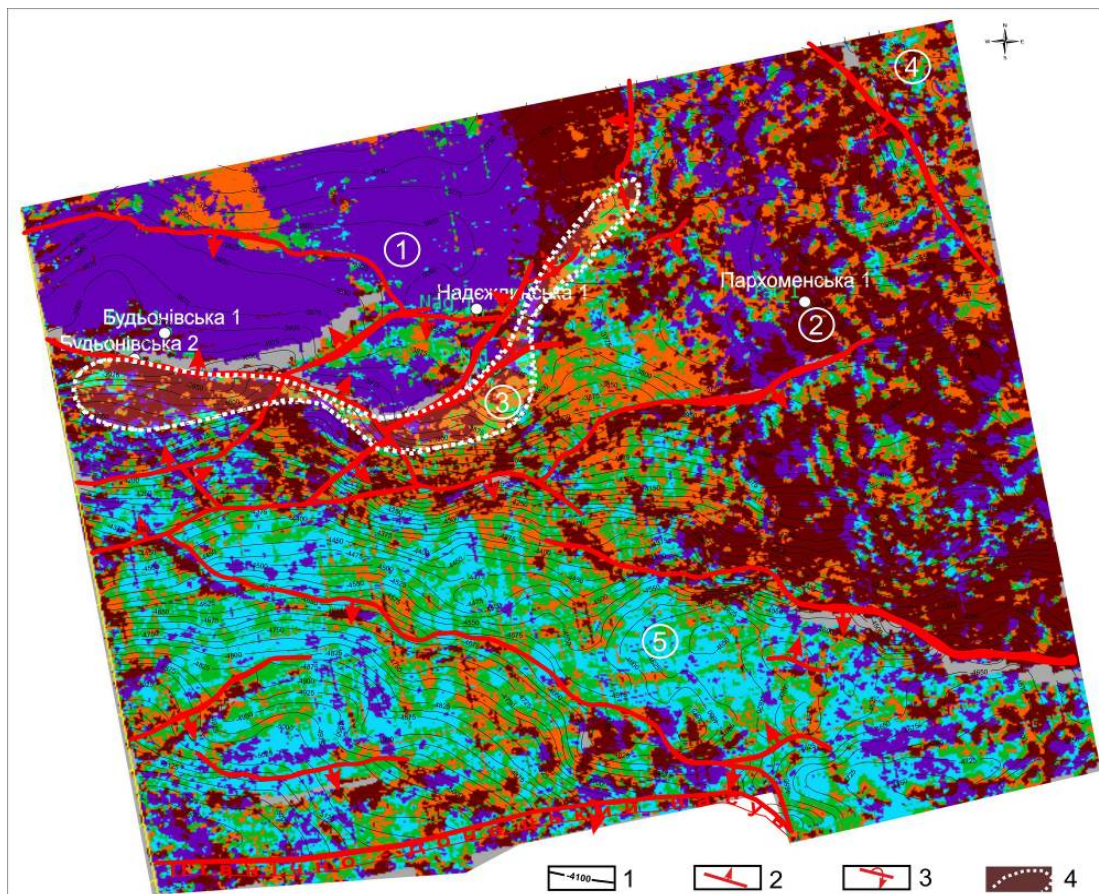


Рис. 2. Карта розподілу сейсмофацій в інтервалі світи C_1^4 :

Умовні позначення: 1 – ізогіпси відбиваючого горизонту Vb_1^2 у підшвах верхньосерпуховського під'ярусу нижнього карбону (C_{1S2}), 2 – скид, 3 – насув, 4 – умовний контур карбонатного масиву

Можна очікувати, що будова прогнозного карбонатного тіла, його палеонтологічні, текстурні й структурні властивості будуть аналогічними іншим верхньосерпуховським карбонатним масивам, поширеним на дослідженій території.

Результати узагальнення геолого-геофізичних даних і сейсмофаціальних досліджень. Уявлення про генезис, вік, морфологію та поширення органогенних споруд на північних окраїнах Донбасу формувались і доповнювались у результаті аналізу та узагальнення геолого-геофізичних даних, що отримувались протягом не одного десятиліття. Існування пізньосерпуховського бар'єрного рифу прогнозувалось у вигляді гряди органогенних споруд в ядрах невеликих антиклінальних складок та валів субширотного простягання на Муратівській, Путилівській, Вільхівській, Кружилівській та інших площах [1, 8, 10]. Зазначалось, що ширина гряди сягає 6 км, її протяжність на території України становить близько 100 км, рифогенні тіла висотою 100-300 м мають плоско-горбисту неправильну форму.

Поведені дослідження показали наявність рифогенної споруди, яка формувалася на ранньому етапі трансгресії на припіднятих ділянках мілководно-морського шельфу. Дугоподібний її вигин у районі Лобачівської, Будьонівської та Надеждинської площ сприяв формуванню обширної застійної зони, де в низах світи S_1^4 накопичувалися зарифові лагунні ангідрити на ділянках Вергунської, Кондрашівської, Вільхівської, Кружилівської, Будьонівської та Надеждинської площ [5]. Інформація про геологічну будову регіону доповнювалася результатами досліджень відкладів карбону, що виходять на поверхню у відкритому Донбасі [8].

Морфологічно серпуховські рифогенно-карбонатні масиви є типовими бар'єрними рифами, які разом з відкладами міжрифових каналів формують чималі рифові ланцюги, що простягаються на багато кілометрів і можуть налічувати декілька склепінь площею 10-20 км, формуючи ядра складок облямування. Характер залягання підстилаючих порід більш пологий, на відміну від перекриваючих; у середньому карбоні складки поступово затухають. Вапняки, що формують карбонатні споруди, мають характерні для рифогенних утворень ознаки: наявність рифобудівних каркасних організмів і цементаторів, масивну текстуру й відсутність шаруватості, світлий колір, плямистість, чистий хімічний склад, ши-

рокий розвиток перекристалізації, доломітизації, кавернозності, тріщинуватості [5, 10]. Більшість карбонатних органогенних споруд включає основний комплекс рифогенних фацій, який охоплює власне рифогенну ядерну частину, зовнішній шлейф з уламкових вапняків та переходить до глинистих ущільнених шаруватих вапняків на схилах масивів [9].

Основними породотвірними організмами в серпуховських органогенних спорудах є моховатки, водорості та корали, рідше – брахіоподи, форамініфери, гастроподи та пелециподи. Порооди, якими складені бар'єрні рифи, мають досить високі колекторські властивості. Значення пористості досягають 5-18%, проникності – 0,1-0,4 мкм² [3].

На північних окраїнах Донбасу поширені органогенні споруди декількох типів. У межах Метьюлінсько-Кондрашівської зони розвитку біогермів поширені хаотично розташовані водоростеві та мулові куполи. У північно-західній частині території поширені карбонатні масиви так званого путилівського типу, водночас, у південно-східній частині Старобільсько-Міллерівської моноклінали виділяються верхньосерпуховські органогенні споруди веселогорівського типу. Для них характерним є суттєве збільшення товщин карбонатних прошарків, випукла верхня й моноклінальна нижня поверхні [11].

У пізньосерпуховський час практично на всій території досліджень склалися сприятливі для формування рифогенно-карбонатних масивів палеотектонічні, палеогеографічні та біоседиментаційні умови. Рифогенно-карбонатні масиви формувалися в умовах мілководно-морського шельфу на припіднятих ділянках: тектонічних блоках фундаменту та виположених флексурах (Мигринська площа), а також на піднятих блоках, утворених згідними (Муратівська площа) та незгідними (Краснодеркульська, Надеждинська площі) скидами. У північно-західній частині біогерми невеликої товщини формувалися в умовах теплового моря з гарною циркуляцією води та в умовах напівзакритих лагун з поганою циркуляцією (Макіївське родовище).

За результатами сейсмофаціального аналізу й узагальнення геолого-геофізичних матеріалів складено схему поширення карбонатних масивів на північних окраїнах Донбасу та в південно-східній частині Північного борту ДДЗ з елементами палеогеографічного районування та умовною зональністю відкладів світи S_1^4 за межами рифогенних масивів (рис. 3).

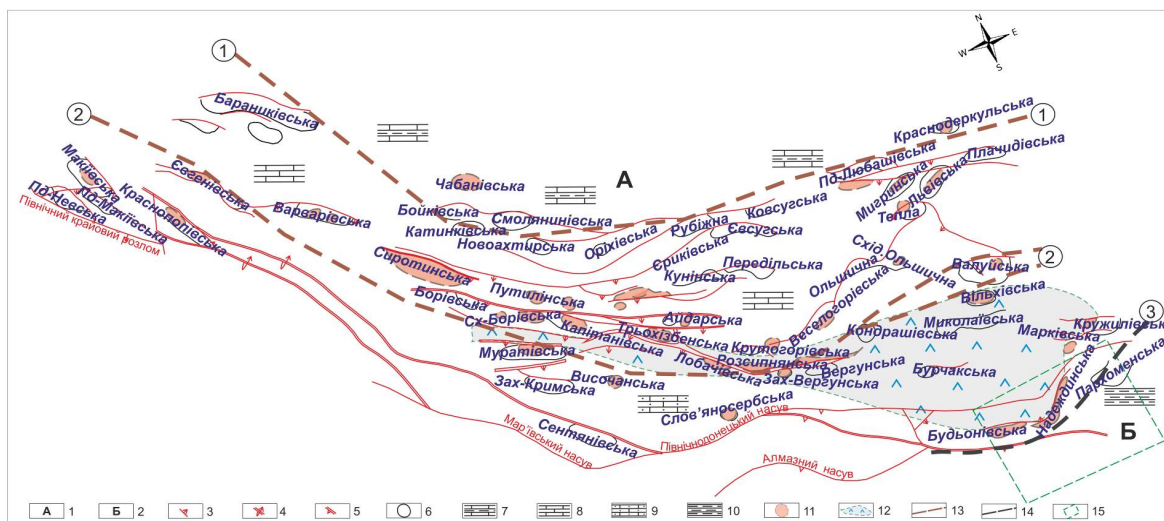


Рис. 3. Узагальнена схема поширення біогермів пізньосерпуховського віку на північних окраїнах Донбасу та в північно-східній частині Північного борту ДДЗ:

Умовні позначення: Палеогеографічні обстановки: 1 – море, мілководний шельф, 2 – море, глибоководний шельф; 3 – скиди, 4 – підкиди, 5 – насуви, 6 – структури. Зони поширення відкладів: 7 – мілководно-морські шельфові вапняки з тонкими прошарками глин, 8 – мілководно-морські шельфові, переважно карбонатні, породи, 9 – вапняки з прошарками доломітів, ангидритів, алевроліти, пісковики, аргіліти, 10 – піщано-глинисті породи морської авандельтової формації, 11 – органогенні споруди, 12 – ангидрити застійної зони шельфу. Умовні границі: 13 – міжрифових зон, 14 – палеогеографічних обстановок; 15 – контур ділянки проведення сейсмофаціального аналізу

На схемі позначено біогермні масиви двох етапів пізньосерпуховської трансгресії – раннього та пізнього. За результатами узагальнення вивчення їхньої будови можна зазначити, що більшість рифових масивів формувалася протягом обох етапів (Мигринська, Львівська площі [11]), хоча деякі з них належать лише до етапу пізньої трансгресії (Кружилівська, Вільхівська площі [7]). Рифогенний масив Надеждинської та Будьонівської площ бурінням не охарактеризований, тому його належність до ранньотрансгресивної генерації лише прогнозується.

Зона поширення міжрифових відкладів та зарифових лагунних ангідритів ранньої трансгресії на схемі окреслена за даними досліджень, описаних у літературних джерелах. Так, її північна межа (1) проведена за результатами досліджень на Краснодеркульській площі [9] та на основі зональності, виявленої для світи S_1^5 башкирського ярусу, "речовинний склад якої повністю успадковує літофаціальний тип порід верхньосерпуховського комплексу" [6, с. 28]. Південна межа (2) проведена по лінії Красноріцького скиду та його північного відгалуження. Межа (3) мілководно-морських шельфових карбонатних відкладів і порід морської авандельтової формації проведена за результатами буріння на Пархоменській площі, використаними при сейсмофациальному аналізі [7]. Область поширення лагунних ангідритів окреслена за результатами буріння на Муратівській, Капітанівській, Кондрашівській, Вільхівській, Будьонівській, Надеждинській площах та результатами сейсмофациального аналізу [1, 5, 7].

Висновки

1. Результатом узагальнення геолого-геофізичної інформації та сейсмофациального аналізу є схема поширення пізньосерпуховських біогермів і лагунних відкладів на північних окраїнах Донбасу та в південно-східній частині Північного борту ДДЗ, доповнена та деталізована отриманими в останні роки даними щодо виявлених та прогнозованих карбонатних масивів у південно-східній частині Старобільсько-Міллерівської антикліналі (Краснодеркульський), південно-східній частині Північного борту ДДЗ (Макіївський) та у піднасувній зоні Північодонецького насуву (Будьонівський, Надеждинський). Розширено уявлення про розвиток органогенних споруд порівняно з попередніми дослідженнями;

2. За результатами сейсмофациального аналізу, застосованого вперше для регіону, окреслено контури прогнозованої пізньосерпуховської карбонатної споруди й зарифової лагуни, а також розраховано сейсμοфациї, які ілюструють обстановки осадонакопичення у пізньосерпуховський час. Виявлено, що цоколем прогнозного карбонатного тіла є лежачі крила двох незгідних скидів субширотного простягання, а застійна зона шельфу формувалася на зануреній ділянці, утвореній опущеними тектонічними блоками;

3. Окреслено схему зональності верхньосерпуховських порід у міжрифовому просторі з умовною областю поширення ангідритів застійної зони шельфу.

Напрямки подальших досліджень. Враховуючи ефективність застосування у вітчизняній та зарубіжній практиці методики сейсмофациального аналізу з метою картування карбонатних масивів та інших літологічних пасток вуглеводнів, а також те, що сейсморозвідка 3D є ключовим методом сучасних пошуково-розвідувальних робіт, доцільно використовувати сейсмічні куби для розрахунку сейсμοфациї у прогнозно-продуктивних інтервалах. Актуальним у цій методикі є те, що, у разі відсутності свердловинних даних, за результатами сейсμοфациального аналізу можна прогнозувати розподіл сейсμοфациї на якісному рівні, використовуючи загальну геологічну інформацію по площі робіт та прилеглих територіях.

Список використаних джерел

1. Бабадаглы А. В. Неантиклинальные ловушки в карбонатных формированиях. Формирование системы Днепровско-Донецкая впадина – Донбасс в карбоне в связи с трассированием погребенных рифов / А. В. Бабадаглы // Методы поисков неантиклинальных залежей углеводородов на Украине. – М.: Недра, 1982. – Вып. XXXI. – С. 208-228.
2. Бухтатий В. М. Про розкриття біогермових будов у верхньосерпуховських відкладах Макіївського ГРП: Матеріали науково-практичної конференції до 100-річчя від дня народження В. П. Макридіна ["Новітні проблеми геології"], (м. Харків, 21-23 травня 2015 р.) / В. М. Бухтатий; Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. – Х.: Видавництво Іванченка І.С., 2015. – 188 с.
3. Вакарчук С. Г. Будова та перспективи нафтогазоносності органогенних споруд нижнього карбону Дніпровсько-Донецької западини / С. Г. Вакарчук // Мінеральні ресурси України. – 2003. - № 2. – С. 22-27.
4. Кузнецов В. Г. Нижнекаменноугольные рифовые образования Северного Донбасса и перспективы их нефтеносности / В. Г. Кузнецов, Э. В. Абрамевич, В. И. Слюсаренко // Геология нефти и газа. – 1978. – № 7. – С. 42-45.
5. Каменноугольные рифовые комплексы северных окраин Донецкого бассейна и перспективы их нефтегазоносности / А. Е. Лукин, А. М. Палий, В. Г. Демьянчук [и др.] // Советская геология. – 1979. – № 1. – С. 28-38.
6. Макеєва Наталія. Структурно-літологічні та стратиграфічні передумови формування неструктурних пасток вуглеводнів у північній крайовій частині Донбасу / Наталія Макеєва, Борис Маєвський // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2007. - № 2. – С. 26-33.
7. Несіна Н. І. Застосування сейсμοфациального аналізу для вивчення верхньосерпуховських відкладів Суходольської площі (північні окраїни Донбасу) / Н. І. Несіна // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2012. - № 2. – С. 184-188.
8. Огар В. В. Органогенні споруди карбону Донецького басейну та деякі особливості їх формування / В. В. Огар // Вісн. Київ. нац. університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2008. – Вып. 43. – С. 10-14.
9. Савицький В. І. Крайові бар'єрні карбонатні споруди Північного Донбасу - новий перспективний об'єкт пошукових робіт на нафту і газ на невеликих глибинах / В. І. Савицький // Мінеральні ресурси України. – 2001. - № 4. - С. 9-10.
10. О позднесерпуховском барьерном рифе северных окраин Донбасса / Е. В. Самарская, Б. И. Кельбас, Т. В. Ершова [и др.] // Методы поисков и разведки погребенных рифов. – М.: Наука, 1983. – С. 124-128.
11. Хабанець І. А. Сейсмічний прогноз і класифікація верхньосерпуховських біогермних споруд північних окраїн Донбасу / І. А. Хабанець, О.М. Тяпкіна // Геоінформатика. – 2015. – № 2 (54). – С. 62-70.
12. Burgess P. M. Methods for identification of isolated carbonate buildups from seismic reflection data / P. M. Burgess, P. Winefield, M. Minzoni and Ch. Elders // AAPG Bulletin. – 2013. – 97 (7). – P. 1071-1098.
13. Elvebakk G. From isolated buildups to buildup mosaics: 3D seismic sheds new light on upper Carboniferous-Permian fault controlled carbonate buildups, Norwegian Barents Sea / G. Elvebakk, D. Hunt, L. Stemmerik // Sedimentary Geology. – 2002. – 152. – P. 7-17.
14. Skirius C. 3-D seismic attributes applied to carbonates / C. Skirius, S. Nissen, N. Haskell [et al.] // The Leading Edge. – 1999. – P. 384-393.

References

1. Babadagli, A.V. (1982). Non-anticlinal traps in carbonate formations. Forming of the Dnieper-Donetsk Depression – Donbass System in Carboniferous in connection with the tracing of land disposal reefs. *The methods of exploration of the hydrocarbon non-anticlinal deposits in Ukraine*. (Vol. XXXI, pp. 208-228). Moscow: Nedra. [In Russian].
2. Bukhtatiy, V.M. (2015) About uncovering of bioherm structures in the Upper-Serpukhovan sediments of the Makiiyske GKD. *Modern problems of the geology. The papers of science-applied Conference, dedicated to the 100 anniversary of V.P. Makridin birthday*. (Kharkiv, 2015, May 21-23). V.N. Karazina National University of Kharkiv. (p. 188). Kh.: Publishing House of Ivanchenko I.S. [In Ukrainian].
3. Vakarchuk, S.G. (2003) Structure and prospects of the Lower Carboniferous organogenic structures of the Dnieper-Donetsk Depression. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 22-27. [In Ukrainian].
4. Kuznetsov, V.G., Abramovich, E.V., Slusarenko, V.I. (1978). Lower-Carboniferous reef structures of the North Donbas and prospects of their oil bearing. *Oil and Gas Geology*, 7, 42-45. [In Russian].
5. Lukin, A.E., Paliy, A.M., Demianchuk, V.G., Abramovich, E.V., Zelenkaya, P.I., Murich, A.T. et al. (1979). Carboniferous reef complexes of the North Part of the Donetsk Basin and prospects of their oil-gas bearing. *Sovetskaya Geologia*, 1, 28-38. [In Ukrainian].
6. Makeeva, N., Maevski, B. (2007). The structure-lithological and stratigraphic preconditions of non-structural hydrocarbon traps at the Northeast Part of Donbas. *Geology and Geochemistry of the Fuel Minerals*, 2, 26-33. [In Ukrainian].
7. Nesina, N.I., (2012). Application of seismic facies analysis for the study of the Upper-Serpukhovan sediments of the Suhodolska area (North Part of the Donbas). *Digest of Science proc. UkrDGRI*, 2, 184-188. [In Ukrainian].
8. Ogar, V.V. (2008). Carboniferous buildups of the Donetsk Basin and some features of their formation. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 43, 10-14. [In Ukrainian].
9. Savitskiy, V.I. (2001). The edge barrier reef carbonate structures of the North Donbas – a new perspective object of the oil-gas slight deep exploration. *Mineral Resources of Ukraine*, 4, 9-10. [In Ukrainian].

10. Samarskaya, E.V., Kelbas, B.I., Ershova, T.V., Partika, I.I., Turik, O.S. (1983). About Late-Serpukhovian barrier reef of the North Part of the Donbas. *Methods of exploration of land disposal reefs*. (pp. 124-128). Moscow: Nauka. [In Russian].

11. Khabanets, I.A., Tyapkina, O.M. (2015). Seismic prognosis and classification of the Upper-Serpukhovian biogenic structures of the North Part of the Donbas. *Geoinformatika*, 2(54), 62-70. [In Ukrainian].

12. Burges, P.M., Winefield, P., Minzoni, M. and Elders, Ch. (2013). Methods for identification of isolated carbonate buildups from seismic reflection data. *AAPG Bulletin*, 97(7), 1071-1098.

13. Elvebakk, G., Hunt, D.W., Stemmerik, L. (2002). From isolated build-ups to buildup mosaics: 3D seismic sheds new light on upper Carboniferous-Permian fault controlled carbonate buildups, Norwegian Barents Sea. *Sedimentary Geology*, 152, 7-17.

14. Skirius, C., Nissen, S., Haskell, N. et al., (1999). 3-D seismic attributes applied to carbonates. *The Leading Edge*, March, 384-393.

Надійшла до редколегії 01.03.16

N. Nesina, Leading Geologist

LLC "Vikoil LTD"

7 Kudriavskiy Uzviz Str., Kyiv, 04655 Ukraine

E-mail: natalia_nesina@bigmir.net

OCCURRENCE OF THE LATE-SERPUKHOVIAN BIOGERMS IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE DON-DNIEPER SAG (BASED ON SEISMIC-FACIES ANALYSIS AND GEO-SCIENCE LITERATURE REVIEW)

The aim of the article is to illustrate applicability of seismic facies analysis aided by well geophysical data to mapping facial zones and reconstructing sedimentation environment during the Late-Serpukhovian period in the South-Eastern part of the researched area. Based on the data of seismic facies analysis, carried out in the Budyonivska, Nadejdinska, and Parkhomenska fields of the North-Donetsk Fault zone, there was built an enhanced seismic-facies map that accurately localizes a predictable reef structure, lagoon, shallow-water and deep-water facial zones. The facial zones have different colors that correspond to the colors of different classes used in the seismic facies analysis. On this map the boundaries of different carbonate zones between reefs, paleo-geographic zones and the lagoon anhydrites contours are marked out according to the suggestions given in the literature sources.

Interpretation of the data received and published previously provided identifying patterns of biogerm occurrences within the area under research and allowed for an updated map of the Late-Serpukhovian biogerm distribution in the outermost Northern Donbas and South-Eastern part of Northern outermost Dnieper-Donetz Depression, as well as their lithological descriptions.

Keywords: Dnieper-Donetz Depression, Northern outermost Donbas, Serpukhovian, reef bodies, carbonate structures, seismic facies.

Н. Несина, вед. геолог,

ООО "Викоил ЛТД",

ул. Кудрявский спуск, 7, г. Киев, 04655, Украина,

E-mail: natalia_nesina@bigmir.net

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЗДНЕСЕРПУХОВСКИХ БИОГЕРМОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДОНО-ДНЕПРОВСКОГО ПРОГИБА (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕЙСМОФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ОБОБЩЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ)

Цель статьи состоит в демонстрации применения сейсмофациального анализа в комплексе с данными геофизического исследования скважин для картирования фациальных зон и реконструкции обстановок седиментации в позднесерпуховское время. На основе сейсмофациального анализа, проведенного на Буденновской, Надеждинской и Пархоменской площадях поднадвиговой зоны Северодонецкого надвига, впервые на этой территории получена детальная карта сейсмофаций, на которой четко выделяются области, соответствующие прогнозируемому рифогенному массиву и зарифовой лагуне, а также сейсмофациям, характеризующим фациальные зоны морской авандельтовой и более глубоководной формаций. Обобщение полученных нами и опубликованных ранее данных способствовало уяснению главных пространственно-временных закономерностей распространения карбонатных построек (биогермов) на исследуемой территории, а также позволило построить дополненную и детализированную схему распространения позднесерпуховских биогермов на северной окраине Донбасса и в юго-восточной части Северного борта Днепровско-Донецкой впадины с литологической характеристикой зон между рифами.

Ключевые слова: Днепровско-Донецкая впадина, северные окраины Донбасса, серпуховские отложения, рифогенные массивы, карбонатные постройки, сейсмофации.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.04 /9

Г. Рудько, д-р геол.-мінералог. наук,
д-р геогр. наук, д-р техн. наук, проф.
ДКЗ України, вул. Кутузова 18/7, оф. 816, м. Київ, 01133 Україна
E-mail: rudko@dkz.gov.ua;

М. Курило, канд. геол. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна
E-mail: marikurylo@meta.ua;

В. Бала, співроб.
ДКЗ України, вул. Кутузова 18/7, оф. 816, м. Київ, 01133 Україна
E-mail: bala@dkz.gov.ua

СПІВСТАВЛЕННЯ КРИТЕРІЇВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЗНАК КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАПАСІВ І РЕСУРСІВ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ТА МІЖНАРОДНІЙ ПРАКТИЦІ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩ ВУГІЛЛЯ

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

Метою проведеної роботи є виявлення головних подібностей та розбіжностей методичних підходів при визначенні кількості запасів і ресурсів вугільних родовищ у вітчизняній і міжнародній практиці. Проведено співставлення класифікаційних ознак запасів і ресурсів вугільних родовищ для методичних рекомендацій, вітчизняних нормативних документів та Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources. Проаналізовано параметри оцінки якості й кількості вугільних запасів та чинників, які визначають їхнє промислове значення. Встановлено достатній рівень відповідності цих параметрів. Визначено, що належність об'єкту оцінки до кожної з визначених груп класифікації не завжди має точну відповідність і повинна оцінюватись у кожному конкретному випадку за наявною геологічною інформацією. У методичних рекомендаціях, які порівнюються в даній роботі, головними класифікаційними ознаками є ступінь геологічного вивчення, промислове значення (або відповідні модифікуючі чинники оцінки) та ступінь техніко-економічного вивчення. Головні відмінності між стандартами оцінювання запасів і ресурсів вугілля полягають в обґрунтуванні достовірності параметрів оцінки, для чого в міжнародній практиці використовують прямі вимоги щодо статистичного аналізу та геостатистичне моделювання родовищ.

Практичне значення такого аналізу полягає у спрощенні геолого-економічної оцінки вугільних родовищ, які розвідуються, за різними стандартами геологічного вивчення. Згідно з переліком ознак класифікації для даного випадку доречним є порівняння таких пар: категорії ресурсів (Measured, Indicated, Inferred Resources) – запаси категорій A+B+C₁+C₂; категорії Coal Reserves – розвідані запаси. В порівнянні перших кількісних показників виявлено майже точне співпадіння обсягів розвіданих і попередньо розвіданих запасів із усіма категоріями Coal Resources. Для категорій Coal Reserves і розвіданих запасів є істотні відмінності, пов'язані із застосуванням модифікуючих факторів для їх визначення у випадку термінології JORC. Згідно з визначенням переліком факторів, значення Coal Reserves більше відповідають кількості промислових запасів – частини балансових запасів, яка вилучається з надр. У даному випадку промислові запаси із числа балансових істотно перевищують обліковані кількості Coal Reserves. Це пояснюється тим, що у вітчизняній практиці промислові запаси розраховують, базуючись на всіх кількостях розвіданих і попередньо розвіданих категорій, а зарубіжні категорії Coal Reserves базуються на найбільш достовірній кількості Indicated та Measured Resources.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка родовищ, запаси вугілля, класифікації запасів і ресурсів, промислове значення, міжнародні стандарти.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Важливою економічною проблемою України, яка також має соціальне й політичне значення, є проблема забезпечення паливно-енергетичними ресурсами. Основним чинником, що заважає розвитку галузі, є недостатній обсяг інвестицій, який на сьогодні не дає можливості забезпечити випереджаюче введення в експлуатацію виробничих потужностей. Розвиткові галузі перешкоджає, зокрема, відсутність ефективного власника, розбалансування цін на товарну вугільну продукцію та продукцію, що використовується у її виробництві, недостатній обсяг інвестицій.

Одним із можливих способів залучення інвестицій у вугільну галузь є публічне розміщення цінних паперів гірничовидобувних підприємств (акцій) на біржових майданчиках світу. Під час публічного розміщення цінних паперів гірничовидобувних підприємств велику вагу має їхня ресурсна база. Більшість країн із розвинутою економікою має законодавчо встановлений порядок розкриття інформації та публічної звітності про запаси й ресурси корисних копалин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для гірничовидобувних компаній, акції яких розміщені на міжнародних біржових майданчиках, або для компаній, що планують IPO (Initial Public Offering, первинна публічна пропозиція – розміщення цінних паперів), є необхідність проходження процедури затвердження запасів

родовищ корисних копалин за міжнародними стандартами звітності.

Сьогодні у світі існують близько 150 офіційно визнаних класифікацій запасів і ресурсів корисних копалин, відповідно до вимог яких здійснюється геолого-економічна оцінка. Найбільшого поширення та авторитету у світі для оцінювання твердих корисних копалин набула система Австрало-Азіатського кодексу звітності про результати геологорозвідувальних робіт (JORC) [7].

З виходом у світ першої версії Кодексу JORC в 1989 р геологи та біржі світу отримали документ, що встановлює стандарти якості та прозорості матеріалів геологорозвідувальних робіт. Даний кодекс відіграв визначальну роль при розробці національних кодексів звітності по всьому світу: в США – Кодексу SME (1999), у Південній Африці – Кодексу SAMREC (2000), у Канаді – Кодексу CIM (2001), у Чилі – кодексу Comisión Minera, в Європейському Союзі – Кодексу PERC (2001), у Росії – кодексу НАЕН (2011) та у багатьох інших країнах світу. На Кодексі JORC оснований шаблон складання кодексів Об'єднаного комітету з міжнародних стандартів звітності про запаси – CRIRSCO (2006).

В Україні геолого-економічна оцінка здійснюється на підставі Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр, затверджена постановою Кабінету Міністрів України № 432 від 05.05.1997 р.[3]. Принципи розподілу запасів і ресурсів корисних копалин на облікові групи, прийняті у вітчизняній Класифікації, гармонізують

ються з Міжнародною рамковою класифікацією запасів і ресурсів твердих горючих і мінеральних корисних копалин (РКООН), розробленою Спеціальною групою експертів Комітету з усталеної енергетики Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй.

Класифікаційні ознаки вітчизняної Класифікації, яка успадкувала визначення категорій запасів і ресурсів, і система JORC (що була прийнята за основу у міжнародних стандартах звітності про запаси CRIRSCO) мають спільні риси та відмінності у практичному застосуванні. У класифікаціях використовуються загальні принципи оцінки родовищ, які припускають збір та оцінку геологічних даних, визначення геометрії рудного тіла, підрахунків ресурсів і придатних до видобутку запасів з одночасною перевіркою достовірності отримуваних даних.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Міжнародні системи оцінки запасів родовищ, такі як CRIRSCO, звичніші та зрозуміліші для зарубіжного інвестора і спрощують процедури підрахунку реальних (видобувних) запасів компаній, що дозволяє визначити ризики для інвесторів при наданні банківських кредитів. Незважаючи на те, що Україна першою з країн колишнього СРСР адаптувала національну класифікацію запасів та ресурсів корисних копалин до РКООН, ця система не входить до числа обов'язкових біржових документів, тому що окремі її положення не відповідають вимогам Об'єднаного комітету з міжнародних стандартів звітності про запаси (CRIRSCO), які широко використовуються за кордоном. Використання чинної Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр дає можливість співставляти звичні категорії запасів і ресурсів ($A+B+C_1$) із Рамковою класифікацією РКООН завдяки використанню тризначного коду. При цьому, методичні підходи CRIRSCO є дещо відмінними від названих класифікацій і вимагають окремого аналізу й порівняння з вітчизняними вимогами щодо виділення запасів і ресурсів твердих корисних копалин.

Формулювання цілей статті. У вітчизняній практиці оцінки вугільних родовищ використовують класифікацію, яка є інструментом гармонізації прийнятих методичних підходів до міжнародних стандартів [2], при цьому використовують і колишню класифікацію запасів і ресурсів у вигляді категорій $A+B+C$. Головною метою роботи є визначення подібних та відмінних методичних підходів у вітчизняних класифікаціях та міжнародних стандартах оцінювання JORC. Чіткість у розмежуванні класифікаційних ознак спростить процедуру переведення окремих груп запасів і ресурсів, отриманих при оцінюванні за різними вимогами, і загалом покращить розуміння всієї геологічної інформації щодо оцінки вугільних родовищ, зокрема, таких ознак, як достовірність оцінки, врахування комплексу модифікуючих чинників та ін.

Виклад основного матеріалу. Методика геолого-економічної оцінки родовищ (ділянок надр) вугілля для Державного фонду надр України основана на використанні єдиних принципів: підрахунку, геолого-економічної оцінки та державного обліку запасів корисних копалин згідно з рівнем їхнього промислового значення та ступенем геологічного й техніко-економічного вивчення, умов, що визначають підготовленість розвіданих родовищ корисних копалин до промислового освоєння, а також основних принципів кількісної оцінки ресурсів корисних копалин.

У 2014 р. у роботі [4] розроблено підходи, що дають змогу гармонізувати українську національну Класифікацію запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр з іншими класифікаціями провідних світових і промислово-фінансових груп, такими як CRIRSCO (тверді корисні копалини) та SPE (вуглеводнева сировина). Офіційна процедура цієї гармонізації досить складна. Однак у цій роботі був викладений комплекс узагальнень та досліджень, що дав можливість окреслити основні перспективи розв'язання проблеми щодо гармонізації.

Стандарт (шаблон) звітності CRIRSCO "Кодекс JORC видання 2012 року" вимагає мінімальних стандартів для публічної звітності про результати геологорозвідувальних робіт, про мінеральні ресурси або запаси твердих корисних копалин [7].

У рамках стандарту звітності (CRIRSCO) щодо результатів геологорозвідувальних робіт по ресурсах або запасах вугілля керуються шаблоном Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources -2014 [8]. У цьому кодексі – 42 статті, що є, фактично, методичними рекомендаціями з оцінки ресурсів і запасів вугілля та регламентом звітності.

У вітчизняній практиці єдині принципи для проведення всіх складових оцінки родовищ викладено в Класифікації запасів і ресурсів Державного фонду надр. З огляду на відмінність систем термінів і визначень у класифікаційних системах, доцільним є співставлення основних оціночних критеріїв, які використовують у названих документах [1-3, 8].

Для оцінки вугільних родовищ в Україні керуються положеннями Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до родовищ вугілля [2]. Згідно з цим документом, головними класифікаційними ознаками для диференціації вугільних об'єктів є (згідно з п. 1.1):

1. Геолого-промислові типи,
2. Складність геологічної будови,
3. Промислове значення,
4. Ступінь техніко-економічного вивчення,
5. Ступінь геологічного вивчення,
6. Ступінь вивченості супутніх корисних копалин,
7. Підготовленість до промислового освоєння.

В Інструкції викладено детальні вимоги до вивченості вугільних покладів, методів їх опробування, оконтурювання й підрахунку запасів згідно з геолого-промисловою типізацією, складністю геологічної будови, іншими факторами достовірності оцінки. Співставлення головних класифікаційних ознак (промислового значення, ступеня техніко-економічного та геологічного вивчення) Інструкції [2] та положень документу [8] наведено в табл. 1.

Треба відзначити, що належність об'єкту оцінки до кожної з визначених груп за названими класифікаціями не завжди має точну відповідність і має оцінюватись у кожному конкретному випадку за наявною геологічною інформацією. На особливу увагу заслуговує розподіл запасів і ресурсів вугілля за промисловим значенням. Подібністю обох систем є те, що ця ознака застосовується виключно до запасів вугілля і в обох випадках є агрегуючою для переліку чинників, які визначають промислове значення родовищ. У вітчизняних оцінках усі фактори, що визначають промислову цінність родовища, як правило, об'єднують у такі групи: 1 – гірничо-геологічні та гірничотехнічні фактори; 2 – технологічні фактори, які визначають здатність корисної копалини перетворюватися в товарну продукцію із заданими якісними характеристиками; 3 – соціально-економічні (значення, ліквідність корисної копалини та продуктів її переробки для економіки, потреби та ступінь забезпеченості запасами даного виду сировини); 4 – економіко-географічні (транспортно-географічні фактори, що характеризують віддаленість від споживачів, освоєність району розробки, енергетичні й транспортні умови та ін.); 5 – екологічні фактори. Крім того, оцінюють зовнішні чинники промислового освоєння родовища, такі як адміністративно-правові, організаційні умови. Для того, щоб отримати однозначну відповідь про промислове значення запасів вугілля, усі перелічені критерії в результаті техніко-економічних розрахунків переводять у вартість запасів у вигляді витратних і доходних складових грошової оцінки. У такому вигляді проявляється взаємозв'язок між класифікаційними ознаками промислового значення та ступенем техніко-економічного вивчення.

Таблиця 1

Співставлення головних класифікаційних ознак

Класифікаційні ознаки запасів та ресурсів	Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до родовищ вугілля	Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources	Примітки
Промислове значення	Балансові запаси	Proved Coal Reserves*	*запаси вугілля мають термінологічне значення, подібне до рудних запасів Кодексу JORC
		Probable Coal Reserves	
	Умовно балансові та позабалансові запаси		
	Промислове значення не визначено	Inventory Coal	
Ступінь техніко-економічного вивчення	ГЕО-1	Feasibility study (FS)	Умовна відповідність встановлена для FS- TEO, PFS – ТЕД, SS - ТЕМ
	ГЕО-2	Preliminary feasibility study (PFS)	
	ГЕО-3	Scoping study (SS)	
Ступінь геологічного вивчення	Розвідані запаси	Measured Coal Resources	Ресурси вугілля мають термінологічне значення, подібне до мінеральних ресурсів Кодексу JORC
	Попередньо розвідані запаси	Indicated Coal Resources	
	Перспективні ресурси	Inferred Coal Resources	
	Прогнозні ресурси		

У рекомендаціях до оцінки вугільних об'єктів [7-8] згідно з шаблонами JORC виділяють за промисловим значенням 2 групи запасів вугілля – Proved і Probable Coal. При цьому застосовують перелік модифікуючих критеріїв, які включають [4]: 1) наявність прав на освоєння надр та землекористування; 2) способи агрегації даних; 3) обґрунтування граничних параметрів оцінки; 4) гірничотехнічні рішення; 5) технологічні чинники; 6) чинники вартості й прибутковості; 7) кон'юнктуру ринку мінеральної сировини; 8) екологічні фактори; 9) адміністративно-правові; 10) соціальні чинники; 11) достовірність оцінки.

З цього можна зробити висновок про значну відповідність переліку чинників, які враховуються при встановленні промислового значення у вітчизняних системах оцінки, із міжнародним стандартом. Крім цього, особливістю Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources є наявність категорії Inventory Coal, яку можна умовно співставити із категоріями прогнозних ресурсів та умовно-балансових запасів тих груп запасів, для яких не проводилось обґрунтування доцільності їх освоєння. Inventory Coal визначається як категорія, яку використовують для повноти оцінки ресурсної бази держави в "непублічний" звітності для цілей стратегічного планування. До цієї категорії відносять ресурси вугілля в надрах, для яких було проведено певний обсяг геологорозвідувальних робіт, але їх недостатньо для достовірної оцінки. За визначенням [8], ця категорія включає в себе всі відомі ресурси вугілля. Для них відомі місцезнаходження, геологічні характеристики та умови залягання вугілля, але для їх оцінки не застосовуються модифікуючі чинники, оскільки для них не встановлено раціональності промислового вилучення.

Також на окрему увагу заслуговують вимоги щодо детальності геологічного вивчення ділянок надр та яості корисної копалини. Вітчизняні Методичні рекомендації [1, 2] містять досить повний перелік вимог та показників, що оцінюються. Параметри опробування та щільності розвідувальних виробок, які забезпечують достовірність геологічної інформації, встановлено залежно від переліку геологічних гірничих факторів, які визначають складність геологічної будови. Методичними рекомендаціями виділено вугільні пласти: 1) за потужністю – тонкі (менше 0,7 м), середньої потужності (0,71-1,2 м), потужні – більше 1,2 м; 2) за витриманістю вугільних пластів (V, %); 3) за кутами падіння пластів – пласти з горизонтальним (0-5°), пологим (6-18°), похилим (19-35°), крутопохилим (36-55°) і крутим (56-90°) заляганням; 4) за ступенем порушеності на тектонічно складних полях шахт (розривів).

Головними показниками якості вугілля, що розглядаються в обох методичних рекомендаціях, є показник

відбиття вітриніт (Ro, %), вихід летких речовин (Vdaf, %) та показники, що характеризують їх основні технологічні властивості [1, 2]:

- для бурого вугілля – масова частка максимальної вологості на беззолний залишок (W_{maxdaf}, %), вихід смоли напівкоксування (TsK_{daf}, %) і вища теплота згорання на сухий беззолний залишок (Q_{sdf}, МДж/кг);
- для кам'яного – товщина пластичного шару (Y, мм);
- для високометаморфізованого кам'яного вугілля – вища теплота згорання на сухий беззолний залишок (Q_{sdf}, МДж/кг), показник спікливості за індексом Pora (RI);
- для антрацитів – вища теплота згорання на сухий беззолний залишок (Q_{sdf}, МДж/кг).

У документі Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources також наведено вимоги щодо опробування вугілля із необхідною достовірністю результатів, до того ж вимоги до щільності розвідувальних виробок визначаються варіативністю статистичних параметрів оцінки. Особливістю вимог до оцінювання запасів і ресурсів вугілля, які встановлені Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources, є необхідність проведення детального статистичного аналізу кількісної геологічної інформації, масштабне застосування геостатистичних методів (побудова варіограм) та проведення геологічного моделювання (із застосуванням геолого-математичних моделей), п. 5.6-5.8 [8].

Окремий приклад співставлення класифікаційних ознак, які використовують у вітчизняних та міжнародних стандартах оцінювання вугілля, можна проілюструвати для запасів поля шахти Красноармійська Західна № 1 ПАТ "Шахтоуправління Покровське".

Наприкінці 2012 р. – на початку 2013 р. група Донецьксталь, до якої входить ПАТ "Шахтоуправління Покровське", залучила світового експерта гірничої індустрії – компанію "IMC-Montan Consulting GmbH" (IMC) для проведення незалежної оцінки запасів і ресурсів своїх вугільних активів – ПАТ "Шахтоуправління Покровське". Цей звіт, у якому узагальнюються висновки незалежної перевірки шахтоуправління "Покровське" і збагачувальної фабрики "Свято-Варваринська", проведений фахівцями компанії IMC, був підготовлений з метою задоволення всесвітньо визаним вимогам до публічної звітності.

IMC було проаналізовано звіти по запасах і ресурсах, складені Компанією відповідно до колишніх методів класифікації, й по-новому інтерпретовано запаси та ресурси, відповідно до критеріїв загально визаних категорій запасів і ресурсів JORC. Підсумкові результати оцінки виглядають таким чином. Мінеральні ресурси шахтоуправління "Покровське" згідно зі стандартами JORC станом на листопад 2012 року складали 290180 тис т (табл. 2) [6, 9].

Таблиця 2

Розподіл ресурсів вугілля за ступенем геологічної вивченості (за даними [6, 9])

Measured resources Підраховані (виявлені) ресурси* (тис. т)	Indicated resources* Передбачувані ресурси* (тис. т)	Inferred resources Прогнозні ресурси (тис. т)	Всього ** (тис. т)
268396	21784	-	290180

Мінеральні запаси шахтоуправління "Покровське" в перерахунку згідно зі стандартами JORC станом на 8 листопада 2012 року склали: Probable Coal Reserve (імовірні) – 32084 тис т, Proved Coal Reserve (доведені) 87798 тис т, усього 119882 тис т [6, 9]. Виділені групи запасів складають близько 41% від загальної кількості ресурсів, що пояснюється виключенням тієї частини, яка не вилучається з надр згідно з гірничотехнічними, технологічними рішеннями або через економічні, еколо-

гічні та ін. причини. Таким чином, виділення груп запасів за рекомендаціями [8] співставне із визначенням промислових та експлуатаційних запасів високої категорії геологічної вивченості (категорії A+B) за методами вітчизняних оцінок.

Мінеральні запаси шахтоуправління "Покровське" в перерахунку згідно зі стандартами JORC станом на 8 листопада 2012 року склали 119882 тис т (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл запасів вугілля за ступенем вивченості (за даними [6, 9])

Імовірні / Probable Coal Reserve (тис. т)	Достовірні / Proved Coal Reserve (тис. т)	Всього (тис. т)
32084	87798	119882

За підсумками незалежної оцінки компанія ІМС дійшла висновку про високу якість управління гірничим підприємством Групи Донецьксталь і оцінила вартість вугільних активів компанії "Донецьксталь" на оперативному рівні в 2863 млн дол. США, допустивши, що реальна ставка дисконтування становить 10% (при діючій обліковій ставці НБУ – 7,5%), обмінний курс грн./дол. США 8,1, а ціни на продукцію, капітальні та експлуатаційні витрати та прогнози видобутку всебічно обґрунтовані.

Згідно з переліком ознак класифікацій, для даного випадку доречним є порівняння категорій ресурсів (Measured, Indicated, Inferred Resources) та запасів усіх категорій, які обліковуються для даного об'єкту надрокористування, та категорій Coal Reserves із кількістю розвіданих запасів. Державним балансом на шахті враховано запаси, що оцінені в ДКЗ України, і запаси, оцінені ДКЗ СРСР. При порівнянні перших кількісних показників виявлено майже точне співпадіння обсягів розвіданих і попередньо розвіданих запасів із усіма категоріями Coal Resources. Для категорій Coal Reserves і розвіданих запасів є істотні відмінності, пов'язані із застосуванням модифікуючих факторів для їх визначення в випадку термінології JORC. Згідно з визначеним переліком факторів, значення Coal Reserves більше відповідають кількості промислових запасів – частини балансових запасів, яка вилучається з надр згідно з проектом або планом розвитку гірничих робіт і визначається з врахуванням проектних втрат при розробці. В даному випадку, промислові запаси із числа балансових істотно перевищують обліковані кількості Coal Reserves (більше, ніж на 35%). Це пояснюється тим, що у вітчизняній практиці промислові запаси розраховують, базуючись на всіх кількостях розвіданих і попередньо розвіданих категорій, а зарубіжні категорії Coal Reserves базуються на найбільш достовірній кількості Indicated + Measured resources.

Порівнюючи оцінки ІМС та ДКЗ України можна відмітити, що до Probable Coal Reserves та Proved Coal Reserves віднесено запаси високих категорій геологічної вивченості (категорії A+B) (з урахуванням запасів вугілля, розташованих в охоронному цілику під стволи шахти).

Висновки. Загалом, за результатом співставлення класифікаційних ознак, які використовують у вітчизняних та міжнародних системах (стандартах) оцінювання вугільних родовищ, можна знайти багато спільних вимог до достовірності результатів геологічного вивчення. У методичних рекомендаціях, що порівнюються в даній роботі, головними класифікаційними ознаками є ступінь геологічного вивчення, промислове значення (або відповідні модифікуючі чинники оцінки) та ступінь техніко-економічного вивчення. Належність об'єкта оцінки до кожної з визначених груп за названими класифікаціями не завжди має точну відповідність і повинна оцінюва-

тись у кожному конкретному випадку за наявною геологічною інформацією. Головні відмінності між стандартами оцінювання запасів і ресурсів вугілля полягають в обґрунтуванні достовірності параметрів оцінки, для чого в міжнародній практиці використовують прямі вимоги щодо статистичного аналізу та геостатистичне моделювання родовищ.

Список використаних джерел

1. Інструкція про зміст, оформлення і порядок подання в ДКЗ України матеріалів з геолого-економічної оцінки запасів вугілля і горючих сланців. – К.: ДКЗ України, 1997. – 30 с.
2. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля. – К.: ДКЗ України, 2004. – 34 с.
3. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF>.
4. Національні та міжнародні системи класифікацій запасів та ресурсів корисних копалин : Стан та перспективи гармонізації [Текст] / Г. І. Рудько, О. В. Нецький, М. В. Назаренко, С. А. Хоменко. – Київ, 2012. – 240 с.
5. Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах. – К.: ДКЗ України, 2005. – 21 с.
6. Сайт групи компаній "Донецьксталь" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://donetsksteel.com/ru/company/coal/pokrovskoe>. – Загл. з екрана.
7. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves/http://www.jorc.org/docs/JORC_code 2012.pdf.
8. Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.jorc.org/docs/Coal_Guidelines_2014_-_Final_Ratified_Document.pdf.
9. Group of companies "Donetsksteel" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://donetsksteel.com/en/company/coal/pokrovskoe>. – Загл. з екрана.

References

1. Instructions of content, execution and procedure for submitting of materials of geological and economic assessment of coal deposits to State Commission of Ukraine for Mineral Reserves. [Instruktsiya pro zmist, oformlennya i poryadok podannya v DKZ Ukrayiny materialiv z geologo-ekonomichnoyi otsinky zapasiv vugillya i goryuchikh slantsiv]. (1997) State Commission of Ukraine for Mineral Reserves, 30 p. [In Ukrainian].
2. Instructions for using the classification of mineral resources and reserves of the state subsoil fund to coal deposits. [Instruktsiya iz zastosuvannya klasyfikatsiyi zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn Derzhavnogo fondu nadr do rodovysch vugillya]. (2004). State Commission of Ukraine for Mineral Reserves, 34 p. [In Ukrainian].
3. Mineral Resources Classification of Ukrainian State Subsoil Fund. [Klasyfikatsiya zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn Derzhavnogo fondu nadr]. (n.d.). [zakon5.rada.gov.ua](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF). Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF>. [In Ukrainian].
4. Rudko, G.I., Netskyi, O.V., Nazarenko, M.V., Khomenko, S.A. (2012). National and international systems of Mineral Resources Classification: state and perspectives of alignment, monograph. [Natsionalny ta mizhnarodny systemy klasyfikatsiyi zapasiv ta resursiv korysnykh kopalyn: stan ta perspektivy harmonizatsiyi]. Kyiv, 240 p. [In Ukrainian].
5. Position of order for development and justification of minerals cut-off conditions for calculation of reserves for solid minerals in bowels. [Polozhennya pro poryadok rozrobky ta obgruntuвання konditsiy na mineralnu syrovynu dlya pidrakhunku zapasiv tverdykh korysnykh kopalyn u nadrah]. (2005). State Commission of Ukraine for Mineral Reserves, 21 p. [In Ukrainian].

6. Sait gruppy kompaniy "Donetskstal" [Site of Group of companies "Donetsksteel"]. donetsksteel.com/ru. Retrieved from <http://donetsksteel.com/ru/company/coal/pokrovskoe>. – Зарг. с екрана.

7. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. (n.d.). www.jorc.org. Retrieved from http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf.

8. Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources. (n.d.). www.jorc.org. Retrieved from http://www.jorc.org/docs/Coal_Guidelines_2014_-_Final_Ratified_Document.pdf.

9. Site of Group of companies "Donetsksteel". donetsksteel.com/en. Retrieved from <http://donetsksteel.com/en/company/coal/pokrovskoe>.

Надійшла до редколегії 17.03.16

G. Rudko, Dr. Sci. (Geol.), Dr. Sci. (Geogr.), Dr. Sci. (Tech.), Prof.
E-mail: rudko@dkz.gov.ua

Head of State Commission of Ukraine on Mineral Resources
18/7 Kutuzova Str., 816, Kyiv, 01133 Ukraine;

M. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

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

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

V. Bala, fellow worker

E-mail: bala@dkz.gov.ua

State Commission of Ukraine on Mineral Resources

18/7 Kutuzova Str., 816, Kyiv, 01133 Ukraine

GEOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF COAL DEPOSITS: CONTRASTING NATIONAL AND INTERNATIONAL TAXONOMIES IN ESTIMATING RESERVES AND RESOURCES

The objective of the study is to examine major differences and similarities in domestic and international methodological approaches to estimating mineral resources base and assessing coal deposits. There is carried out a contrastive analysis of taxonomic criteria for coal deposits based on National Regulations and Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources. Coal reserves having been analyzed in terms of quality and quantity (basic evaluation criteria) and factors that determine their commercial value having been identified, there is revealed a sufficient level of compliance with these criteria. However, there have been noticed cases of mismatch between assessable objects and their taxonomic nests, and hence, the suggestion is made to appropriate available geological information to every classifiable case.

The study of the Guidelines reveals awareness of geological environment, commercial significance, and the extent of the feasibility analysis carried to be primary assessment criteria. The main differences in the criteria are recognized to lie in methods that validate assessment, for which direct statistical analysis and geo-statistical modeling of deposits are used in international practice.

The practicability of the analysis suggested results in optimizing geological and economic evaluation of coal deposits by unifying different criteria. In the research there are compared the following options: Resource Categories (Measured, Indicated, Inferred Resources); Reserves Categories: A + B + C1 + C2; and Coal Reserves Categories, which are proven reserves. Comparison of the first group of quantitative indicators shows almost a complete match in volumes of previously explored and prospected reserves within all categories of Coal Resources. For categories of Coal Reserves and proven reserves there are significant differences resulting from the application of modifying factors to their definition in the case of JORC terminology. Coal Reserves values are more in line with quantity of commercial (recoverable) reserves - part of balance reserves, which are extracted taking into account project losses. In this case, quantity of recoverable reserves significantly exceeds Coal Reserves quantity. This is due to the fact that in national practice commercial reserves are assessed based on all quantity of previously explored and prospected categories, and Coal Reserves categories are based on the most reliable quantity of Indicated and Measured Resources.

Keywords: geological and economic evaluation of deposits, coal reserves, classification of reserves and resources, commercial significance, international standards.

Г. Рудько, д-р геол.-минералог. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, проф.

E-mail: rudko@dkz.gov.ua

ГКЗ України, ул. Кутузова, 18/7, оф. 816, г. Киев, 01133, Украина;

М. Курило, канд. геол. наук, доц.

E-mail: marikurylo@meta.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Киев, 03022, Украина;

В. Бала, сотруд.

E-mail: bala@dkz.gov.ua

ГКЗ України, ул. Кутузова, 18/7, оф. 816, г. Киев, 01133, Украина

СОПОСТАВЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРИЗНАКОВ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ И РЕСУРСОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРАКТИКЕ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЯ

Целью проведенной работы является выявление главных сходств и различий методических подходов при определении количества запасов и ресурсов угольных месторождений в отечественной и международной практике. Проведено сопоставление классификационных признаков запасов и ресурсов угольных месторождений для методических рекомендаций отечественных нормативных документов и Australian Guidelines for Estimation and Classification of Coal Resources. Проанализированы параметры оценки качества и количества угольных запасов и факторов, определяющих их промышленное значение. Установлен достаточный уровень соответствия этих параметров.

Определено, что принадлежность объекта оценки к каждой из определенных групп классификаций не всегда имеет точное соответствие и должна оцениваться в каждом конкретном случае по имеющейся геологической информации. В методических рекомендациях, которые сравниваются в данной работе, главными классификационными признаками являются степень геологического изучения, промышленное значение (или соответствующие модифицирующие факторы оценки) и степень технико-экономического изучения. Главные различия между стандартами оценки запасов и ресурсов угля заключаются в обосновании достоверности параметров оценки, для чего в международной практике используют прямые требования к статистическому анализу и геостатистическому моделированию месторождений.

Практическое значение такого анализа заключается в упрощении геолого-экономической оценки угольных месторождений, которые разведываются по разным стандартам геологического изучения. Согласно перечню признаков классификаций для данного случая уместно сравнение следующих пар: категории ресурсов (Measured, Indicated, Inferred Resources) – запасы категорий A + B + C1 + C2; категории Coal Reserves – разведанные запасы. В сравнении первых групп по количественным показателям выявлено почти точное совпадение объемов разведанных и предварительно разведанных запасов со всеми категориями Coal Resources. Для категорий Coal Reserves и разведанных запасов имеются существенные различия, связанные с применением модифицирующих факторов для их определения в случае терминологии JORC. Значения Coal Reserves больше соответствуют количеству промышленных запасов – части балансовых запасов, которые извлекаются из недр с учетом проектных потерь. В данном случае, промышленные запасы из числа балансовых существенно превышают учтенные количества Coal Reserves. Это объясняется тем, что в отечественной практике промышленные запасы рассчитывают, основываясь на всех количествах разведанных и предварительно разведанных категорий, а зарубежные категории Coal Reserves базируются на наиболее достоверных количествах Indicated и Measured Resources.

Ключевые слова: геолого-экономическая оценка месторождений, запасы угля, классификации запасов и ресурсов, промышленное значение, международные стандарты

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3: 553.98 (477.52/.6)

М. Рева, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна
E-mail: Reva_max@ukr.net

СУПУТНЬО-ПЛАСТОВІ ВОДИ В СХІДНОМУ НАФТОГАЗОВОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ
ЯК ДЖЕРЕЛО НЕБЕЗПЕКИ АБО ЦІННИЙ РЕСУРС

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

Мета дослідження – проаналізувати проблему видобування супутньо-пластових вод на нафтових та газових родовищах з точки зору їх впливу на навколишнє середовище та екологічну безпеку, а також можливості використання вод як сировини для видобутку корисних компонентів; визначити основні напрямки, за якими відбувається забруднення водоносних горизонтів, відкритих водойм та ґрунтів пластовими водами, що видобуваються разом із нафтою або газом; дослідити основні хімічні компоненти та сполуки, розчинені у супутньо-пластовій воді, за рахунок яких і виникає забруднення.

Проаналізовано екологічні проблеми, що були спричинені скиданням, просочуванням, зберіганням пластових вод як у світовому досвіді, так і у вітчизняному. Наведено приклади забруднення пластовими водами, які пройшли попередню очистку перед скиданням. Відповідно до цих прикладів встановлено, що для промислової нафтогазової геології України питання забруднення навколишнього природного середовища є актуальним для Східного нафтогазового регіону (Дніпрово-Донецька западина). Суть проблеми полягає в тому, що в результаті потрапляння пластової води в інші геологічні та екологічні системи навколишнього середовища буде порушена природна рівновага, що в подальшому призведе до ряду проблем. Серед основних можна виділити: забруднення водоносних горизонтів, які експлуатуються для питного та господарського водопостачання; забруднення поверхневих водойм; засолення родючих ґрунтів, які використовуються для ведення сільськогосподарського господарства. Ці питання є досить актуальними, оскільки в адміністративному відношенні для даного регіону використання вище зазначених ресурсів з економічної точки зору, подекуди, є значнішим, ніж видобуток нафти та газу.

Запропоновано проводити моніторинг щодо визначення кількості хімічних елементів та речовин, які містяться в пластовій воді, на початкових стадіях розробки та безпосередньо в процесі експлуатації. Це, в свою чергу, спростить вибір методу з оперативної локалізації забруднення, якщо таке буде, а також вибір методів очистки супутньо-видобутої води. Відомості про вміст таких компонентів, як Br, B, I, Li та інших, у цій воді дасть змогу розглядати її як сировину для їх видобутку.

Ключові слова: супутньо-пластова вода, довкілля, забруднення, пластова вода, засоленість, інфільтрація.

Вступ. На сучасному етапі розвитку людства використання нафти є невід'ємною частиною його існування, проте на сьогодні гостро постає проблема збереження природного навколишнього середовища під час експлуатації родовищ. У процесі розвитку науки та техніки, поступального технологічного прогресу людство має змогу зменшувати використання нафти, хоча навіть за умови зменшення видобутку та експлуатації родовищ даного ресурсу, зберігається істотний негативний вплив на екологію. Особливо варто відзначити роль супутньо-видобутої води – пластових вод, які видобуваються разом із вуглеводнями, як одного із основних забруднюючих чинників.

Пластова вода є важливим елементом дослідження нафтогазових родовищ, що відіграє головну роль при формуванні нафтогазового родовища (забезпечуючи процес перенесення вуглеводнів до геологічних пасток, де вони в подальшому акумулюються), його збереження, а також експлуатації. На сучасному етапі розвитку нафтогазової геології питанню впливу пластової води чи не найбільше уваги приділяють саме на стадії експлуатації родовища. Інтенсивна розробка родовищ призводить до потрапляння пластової води у стовпи експлуатаційних свердловин та її підйому на поверхню разом із нафтою. Вода до свердловин потрапляє двома шляхами: це власне пластова вода (рівень якої підіймається в процесі видобутку вуглеводнів за рахунок перепаду тисків) та закачана вода (яка нагнітається до експлуатаційного колектора з метою збільшення нафтовіддачі, що в подальшому може призвести до прориву водонафтового контакту (ВНК) та надходження даної води до свердловини). Вода, яка видобувається разом із нафтою, називається супутньо-видобутою. Значний відсоток води у флюїді, що видобувається, є серйозною проблемою, що призводить до підвищення собівартості видобутої нафти та в деяких випадках може спричинити нерентабельність експлуатації певних нафтових свердловин. Вилучений флюїд, який складається з на-

фти та води, піддається сепарації (відділенню води від нафти), в результаті чого на поверхні землі залишається вода, яку необхідно утилізувати. Утилізація видобутої води відбувається кількома шляхами, а саме:

- поверненням її до експлуатаційного пласта через нагнітальні свердловини з метою вторинного відновлення нафтовіддачі;
- зберіганням води у спеціальних резервуарах;
- скиданням її у водоносні горизонти.

Води нафтових родовищ (пластові води) за своєю природою є високомінералізованими та містять у своєму складі високу концентрацію важких металів. Утилізація сепарованої води зазначеними вище шляхами є досить небезпечною із екологічної точки зору, оскільки ці води можуть потрапляти до водоносних горизонтів, які експлуатуються для питного та господарського водопостачання. Особливо гостро це питання постає у нафтових провінціях, густонаселених регіонах та територіях, у межах яких протягом тривалого часу йде розробка нафтових родовищ і де є проблеми з питним водопостачанням, наприклад для країн Перської затоки.

Актуальність. Для України проблема утилізації та захоронення супутньо-видобутої води є не менш актуальною, оскільки основним нафтогазовим регіоном є Дніпрово-Донецька западина (Дніпрово-Донецький артезіанський басейн). У даному регіоні значна кількість нафто-газових родовищ знаходиться на кінцевих стадіях розробки та характеризується низьким відсотковим вмістом вуглеводнів у видобутій сировині. На території, що її займає дана геологічна структура, багато населених пунктів, які для питного та господарського водопостачання використовують води верхніх водоносних горизонтів та комплексів артезіанського басейну. У процесі експлуатації нафтових свердловин існує можливість потрапляння пластових вод у дані водоносні горизонти з подальшим їх забрудненням. Останнє можливе декількома шляхами:

- при поверненні пластових вод назад у колектори з метою підтримання пластового тиску;

- за рахунок зносу експлуатаційного та нагнітально-го обладнання;

- через пошкодження та руйнацію цементної обсад-ки свердловин;

- за рахунок інфільтрації та виливів із відстійників.

Масштаб та інтенсивність впливу цих вод на геохі-мію природних систем часто є більш вагомим чинником, ніж вплив власне нафти й нафтопродуктів [6].

Виклад основного матеріалу. Вплив пластової води на оточуюче середовище та методи боротьби з ним.

В США проблема забруднення супутньо-видобутою водою постала в 1955-1970 рр. XX ст. Зокрема, штати Огайо, Пенсильванія та Техас мають три-валу історію з видобутку нафти. У середині XX ст із до-ломітів та вапняків кембрійського віку за допомогою свердловин глибиною 1000-1400 м разом із нафтою почали видобувати значну кількість води, яка пред-ставляла собою розсоли з вмістом хлоридів від 35 до 150 г/дм³. Через брак досвіду промислові геологи не знали, що робити з цією водою. Зокрема, частину її закачували назад у колектори для підтримки пластово-го тиску, а частину скидали у спеціально створені аера-ційні басейни. Ці басейни представляли собою просто вириті котловани незначної глибини, але з великої площі. За проектом супутньо-видобута вода мала в них просто випаровуватися, а розчинені солі та важкі мета-ли випадати в осад та адсорбуватися ґрунтами дна та стінок котловану. Але, як показала практика, більшість цієї води не випаровувалася, а інфільтрувалася, ство-рюючи ареали забруднення у вигляді засолення ґрунтів та водоносних горизонтів. Також деякі видобувні ком-панії з метою економії коштів на утилізацію, супутньо-пластову воду просто зливали у болота, яри та інші місця, які, на їхню думку, не становили ніякої цінності. Як результат, у штаті Огайо виникли екологічні пробле-ми, пов'язані із засоленням. Це виявлялося у засоленні ставків, озер та річок з повільним водообміном, а також водоносних горизонтів. Так, землевласник з округу Мор-роу в південно-східній частині штату навесні 1967 р. помітив, що вода з його колодязя глибиною 15 м має відчутний солоний смак. Коли він використав цю воду для зрошення саду, велика частина дерев та кущів за-гинула, вода почала роз'їдати сантехніку. Проби води, відібрані зі свердловини в травні 1967 р., містили 2,8 г/дм³ хлориду, що перевищувало у понад 10 разів норму, встановлену "Службою суспільної охорони здо-ров'я США" в 0,25 г/дм³ для питної води (1962). У вересні другий аналіз показав вміст хлориду 3,3 г/дм³, що збільшився приблизно на 12% всього за чотири місяці. Нафтова компанія, власник кількох видобувних сверд-ловин, що оточували власність фермера, була стурбо-вана й закачувала в свердловину прісні води протягом приблизно трьох днів, щоб очистити водоносний гори-зонт. У травні 1968 р. проба зі свердловини містила 5,65 г/дм³ хлориду, а у вересні інша – 7,6 г/дм³. У лис-топаді 1969 р. концентрація хлориду досягла 7,7 г/дм³. Дослідниками було встановлено причину забруднення, це виявилися кілька "випаровувальних" ям, які раніше існували у безпосередній близькості до території за-бруднення. Одна з них розташовувалася на відстані 180 м від колодязя фермера, ці ями в 1964 і 1965 рр. були заповнені та залишені на "випаровування". Подіб-ні випадки неодноразово було зафіксовано в окрузі Мо-рроу. Також фіксувалися значні забруднення річок, озер, ставків та засолення родючих ґрунтів. У деяких містах довелося бурити нові водозабірні свердловини на більші глибини та в інших місцях по причині підви-

щеного вмісту хлоридів у межах старих свердловин, які використовувалися для водопостачання міст [9].

В Україні проблема сольового забруднення пласто-вими водами ґрунтових вод виникла у межах Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища, де застосовують систему для підтримки пластового тиску. Пластові води вигодської, поляницької, бистрицької та середньоменілової світ родовища представляють со-бою мінералізовані води з мінералізацією від 40,21 г/дм³ до розсолів з мінералізацією 157 г/дм³. До-слідженнями встановлено, що у межах родовища у на-вколишніх селах Яворів та Гузіїв пройшло значне со-льове забруднення підземних вод (до 6,5 г/дм³), що призвело до неможливості їх використання для питного та господарського споживання [3].

В Україні з проблемою супутньо-видобутої води сти-каються у Сумській області, де є родовища, в яких на одиницю видобутої речовини припадає лише 10% наф-ти, все інше складає супутньо-видобута пластова вода. Частина цих вод закачується назад у горизонт з метою підтримки пластових тисків, що частково вирішує пи-тання утилізації, а решта скидається у відстійники. До найбільших з них належать Качанівський та Глинсько-Розбишівський, сумарна потужність полігонів складає 15000 м³/добу. Розвинена система відводів високого тиску, насосні станції, дільниці підготовки води – потен-ційні джерела забруднення ґрунтів, поверхневих і під-земних вод у районі родовищ. Тільки зареєстрованих проривів трубопроводів відбувається близько 1000 на рік. Середні втрати води при одному прориві складають 1-5 м³ [6].

Супутньо-промислові води з продуктивних гори-зонтів родовищ Сумської області є хлоридними натрій-кальцієвими розсолами з мінералізацією до 300 г/дм³ і концентраціями багатьох компонентів, що перевищують ГДК для питних вод у сотні разів (табл. 1) [6]. Тому на-віть незначні втрати промислових вод призводять до серйозних змін у складі прісних поверхневих і підзем-них вод верхнього горизонту [1].

Вплив пластових вод на ґрунтові є вагомим елемен-том дослідження при розробці нафтових та газових родовищ. Для цього промислові нафтогазові гідрогео-логи використовують різноманітні методики з моделю-вання процесів заводнення родовищ, шляхів та втрат пластових вод у водоносні горизонти, моделювання поширення забруднюючої води по горизонту, створю-ють системи моніторингу з дослідження водоносних горизонтів. Головна особливість моніторингу полягає у дослідженні пластових вод, потенційно незахищених водоносних горизонтів та поверхневих водойм на зміні концентрацій хімічних елементів у воді. Для цього не-обхідно проводити спеціалізовані комплексні хімічні аналізи води стосовно таких елементів: Na, K, Mg, Ba, Sr, SO₄, Cl, Ca, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn та ін.

Ученими БАТ "Укрнафта" на родовищах Сумської області в результаті досліджень було розроблено пев-ні методи для виявлення забруднення пластовими водами. Суть методів полягає в тому, що пластова вода за своєю природою є високомінералізованою (переважно, хлоридно-натрієвою). Відповідно, хлор є найбільш летким компонентом порівняно з усіма ін-шими, властивими пластовій воді. Виходячи з цього, запропоновано проводити хімічний аналіз вод для ви-явлення зміни концентрацій хлору у водоносних гори-зонтах та ґрунтах, куди можливе потрапляння пласто-вої води. Тобто хлор є своєрідним індикатором щодо виявлення забруднення, це дає змогу швидко реагу-вати для локалізації забруднення [6].

Таблиця 1

Вміст хімічних компонентів у пластовій воді родовищ Сумської області

Показник	ГДК, мг/дм ³	Коливання концентрацій, мг/дм ³		Перевищення ГДК, раз
		від	до	
Сухий залишок	1000	146250	192750	146-193
Cl	350	91218	116475	260-332
SO ₄	500	20	503	-
Ca	180	7925	9743	44-54
Mg	40	1518	1900	38-47
Na	200	34225	47950	170-240
K	50	298	618	6-12
Sr	7	290	444	41-63
Cs	-	0,188	0,249	-
Li	0,03	3,650	4,750	122-158
I	-	3,98	9,79	-
Br	0,2	96,8	143,0	483-715
Ba	0,1	41,0	91,8	410-920
Fe	0,3	26,3	100,0	87-333
Mn	0,1	1,38	11,19	14-112
Cu	1	0,25	1,388	1,4
Cr	0,05	0,88	2,50	17-50
Pb	0,03	0,63	2,67	21-89
Sn	2	0,63	8,42	4,2
Bi	0,1	0,28	2,60	2,8-26
Ni	0,1	0,50	3,08	5-31
Co	0,1	1,00	1,50	10-15
Ti	0,1	0,75	9,25	7-92
Ag	0,05	0,125	0,906	2,5-18
La	0,01	1,22	9,20	120-920
Al	0,5	1,25	69,25	2,5-140
Si	10	27,5	120,0	3-12
B	0,5	27,1	140,7	54-283
Rb	0,1	<0,05	0,30	3

Слід зазначити, що процес виявлення самого факту забруднення не може бути шляхом вирішення проблеми забруднення пластовими водами. Найліпшим виходом можна вважати процес запобігання такому забрудненню, коли промислові нафтовики перед тим, як скидати супутньо-пластові води у відстійники чи у відкриті водойми, проводять їх попередню очистку.

Досвід використання попередньої очистки. З досвідом використання попередньої очистки добре ознайомлені видобувні компанії та вчені Перської затоки. За рахунок того, що проблема забезпечення запасами прісних вод населення цих країн стоїть особливо гостро, після виникнення декількох фактів забруднення (за-солоння) ґрунтів та водоносних горизонтів на нафтових

родовищах цих країн, даному питанню приділяється багато уваги. Одним із методів, який дозволяє мінімізувати шкоду на навколишнє середовище в боротьбі із супутньо-видобутими водами, є необхідне проведення їх попередньої очистки. Для очистки цих вод існує багато методів. Аяд Аль-Халім та Ахмед Абдулла, вчені наукового університету Багдаду, дослідили такі методи, зокрема: метод біологічної очистки, зворотного осмосу, вугільної очистки, гравітаційний метод, озонування та ін. Дослідження проводилися на родовищі Румайла в Західній Курні (Ірак). Для цього було відібрано 5 проб пластової води із різних свердловин родовища (табл. 2) та проведений комплексний хімічний аналіз.

Таблиця 2

Вміст хімічних компонентів у пластовій воді на родовищі Румайла

Показник	Вміст компонента у воді, мг/дм ³					Вміст компонентів після проведення зворотного осмосу, мг/дм ³
	Точка відбору 1	Точка відбору 2	Точка відбору 3	Точка відбору 4	Точка відбору 5	
Na	35000	25000	28000	19700	22000	100
K	720	450	410	250	220	10
Mg	390	810	670	520	480	-
Ba	280	190	180	220	200	10
Sr	720	580	630	590	500	15
SO ₄	80	100	190	110	130	-
Cl	65000	66000	67100	62000	61000	150
Ca	5500	4400	4100	4000	4700	70
Cd	30	25	26	29	21	-
Cr	110	90	95	90	100	-
Cu	100	85	90	75	95	-
Pb	280	210	220	160	150	15
Ni	190	170	180	130	140	-
Zn	150	88	99	110	120	-
HCO ₃	650	600	610	700	630	10
Ph	8,2	8,5	8,6	8,4	8,1	7,4
Сумарний вміст розчинених часток	8000	7500	8100	7600	7900	310
Розчинена нафта	600	650	670	640	710	15

Наступним етапом було проведення аналізу кожного із методів з очистки води, їхньої ефективності та собівартості застосування. У результаті всі вони дали гарні результати, але, на думку вчених, найефективнішим виявився метод зворотного осмосу. Після проведення очистки супутньо-видобута вода використовувалася для підтримки пластового тиску та скидалася в інфільтраційні басейни. Спершу чітко виражених екологічних наслідків скидання води не спостерігалось. Пізніше було виявлено вплив очищених вод на екологію, ця вода, потрапляючи до відкритих водойм у значних кількостях, змішувалася з водами та викликала зменшення концентрацій фосфатів, що, у свою чергу, призвело до зменшення кількості планктонних організмів та всього біологічного ланцюга, який від них залежить [7].

З подібною ситуацією із впливу очищеної супутньо-видобутої води на навколишнє середовище зіштовхнувся на родовищі в Нігерії. Але там спостерігалася проблема зменшення концентрацій розчиненого кисню (O_2) у воді, що, в подальшому, також вплинуло на біологічну активність живих організмів [8].

Дослідження проблеми для українського Східно-го нафтового регіону. Дніпро-Донецька западина, або Східний регіон (Чернігівська, Сумська, Полтавська, Харківська, Дніпропетровська області), налічує 76 родовищ. Незважаючи на те, що цей регіон відкритий практично в післявоєнний період, його частка в поточному видобутку є вирішальною й складає близько 75%.

Східний регіон не тільки багатий запасами нафти та газу, але й з досить потужним аграрним сектором, на розвиток якого впливають родючі ґрунти та сприятливі фізико-географічні умови. Наприклад, економічний потенціал Полтавської області майже на 67% залежить від агропромислового комплексу. Тож збереження родючості ґрунтів, поверхневих водойм та підземних горизонтів у цьому регіоні є першочерговим завданням.

Родовища Дніпро-Донецької западини характеризуються сприятливими геологічними умовами для видобутку нафти. У багатьох покладах пористість порід сягає 20-23%, потужність пластів змінюється від 3-5 до 20-30 м, часто мають місце активні тиски від підшвиної й контурної води, що підвищує ефективність розробки покладів нафти.

За рахунок геологічних умов більшість родовищ перебуває на останніх етапах розробки, де виснаження ресурсів складає від 60 до 80%. І тому разом із нафтою можливий видобуток супутньо-пластової води. На українських родовищах супутньо-пластову воду із середини 70-х років закачують назад у пласти для підтримки тисків. Зокрема, з метою інтенсифікації заводнокується 25 родовищ, у які закачується 12 млн. м³ води щорічно [2].

Таким чином, нафтовидобувні компанії Східного регіону зобов'язані унеможливити потрапляння супутньо-видобутих пластових вод у навколишнє природне середовище, оскільки це може викликати засолення родючих ґрунтів, поверхневих водойм та водоносних горизонтів, які експлуатуються для питного та господарського водопостачання. Для цього регіону дане питання стоїть особливо гостро, оскільки виникнення засолення може мати не тільки суттєві негативні екологічні наслідки, але й здатне вплинути на економіку регіону, зіпсувавши землі, придатні для ведення сільського господарства.

Високий ступінь мінералізації пластових вод нафтових та газових родовищ у поєднанні із сучасними технологіями дозволяє розглядати їх не як затратний елемент розробки нафтових родовищ, а як цінну сировину для видобутку хімічних компонентів, таких як літій, йод, бром, бор, стронцій та ін. Тобто, можемо назвати супутньо-пластові води промисловими. В світі з пластових вод нафтових родовищ щорічно отримують значну кількість цінних ресурсів. Наприклад, у США – літію видобувають приблизно 16 тис. т/рік, бром – до 190 тис. т/рік, оксиду магнію – до 750 тис. т/рік, кухонної солі – приблизно

1600 тис. т/рік; у Японії – йоду – до 7 тис. т/рік; у Італії – боратів приблизно 35 тис. т/рік. У нафтових провінціях колишнього СРСР із супутньо-пластових вод на нафтових родовищах подекуди видобувають лише йод та бром [5]. Хоча останніми роками у вивченні даного питання зробили великий крок азербайджанські та російські вчені. За рахунок цього, на родових Західного Сибіру почали видобувати стронцій та барій.

Азербайджанськими вченими була проведена техніко-економічна оцінка використання пластових вод на родовищах Апшеронського півострова. Ними встановлено, що на кожному тону видобутої нафти в середньому припадає 24 т видобутої пластової води. Мінералізація води продуктивних товщ коливається від 200-220 г/дм³ у нижній частині та 12,6 г/дм³ у верхній частині. На ці 24 т пластової води припадає 1,59 т солей, з яких: NaCl – 1380 кг, KCl – 6,4 кг, MgCl₂ – 64 кг, CaCl₂ – 43 кг, CaCO₃ – 50 кг, Na₂CO₃ – 16 кг, J – 0,5 кг, Br – 2,0 кг, B₂O₃ – 11 кг, Sr – 1 кг та ін. Зі значної кількості компонентів та елементів, які містяться в складі супутньо-видобутих вод із середньою мінералізацією 75-80 г/дм³, що видобуваються з 1 т нафти, вартість тільки хлоридів Na, K, Ca, Mg, карбонату кальцію, J, Br і Sr (за цінами на міжнародних ринках) становить 250-260 у.о., тобто більше вартості 1 т нафти [4].

Висновки. Отже, вплив, який може бути викликаний супутньо-видобутими водами на навколишнє середовище, є досить вагомим та має не тільки екологічні, але й похідні від них економічні наслідки. Бачимо також, що технології "випаровувальних" ям та кар'єрів-відстійників для зберігання супутньо-видобутої води є неефективними.

На сьогодні існує багато методів очистки цієї води, які можуть дати непогані результати, але вибір кожного із методів, у першу чергу, залежить від попередньої інформації щодо фізико-хімічних властивостей пластової води. Так, варто досліджувати пластову воду на перших етапах експлуатації родовищ, що, в подальшому, дає змогу швидко реагувати та застосовувати той чи інший метод щодо локалізації забруднення. На жаль, більшість хімічних компонентів та їхніх сполук на українських родовищах визначають при виникненні проблеми утилізації видобутої пластової води. Це не дає змоги оперативно визначити метод утилізації чи зберігання цих вод без шкоди довкіллу. Говорити, що в Україні на перших етапах розробки родовищ не проводять хімічний аналіз пластової води не можна. Але цей аналіз проводять стосовно визначення основного аніонно-катионного складу (HCO_3^- , SO_4 , Cl, Ca, Mg, Na+K) та специфічних компонентів, таких як I, Br, B, NH_4^+ , наявність цих специфічних компонентів та певний вміст основних визначають з метою встановлення наявності нафти чи газу в колекторі, а не з метою оцінки подальшого впливу пластових вод на навколишнє природне середовище. Тому для проб пластової води необхідно проводити одразу комплексний хімічний аналіз.

Результати комплексного аналізу дадуть змогу розглядати видобуту пластову воду не як затратний елемент при видобутку нафти чи газу, який необхідно утилізувати, тим самим збільшуючи собівартість видобутого вуглеводню, а як сировину, з якої можна вилучати цінні компоненти. За рахунок сучасного розвитку науки й техніки на деяких родовищах світу практикують видобуток із супутньо-пластових вод стронцію, бром, літій, йод та інших хімічних компонентів. Таким чином, цю воду можна розглядати як сировину, а басейни-відстійники – як техногенні родовища.

Проаналізувавши наведені результати комплексного хімічного аналізу проб води на відстійниках Сумської області, бачимо, що вміст певних компонентів є досить вагомим. Та, зважаючи на досвід провідних нафтовидобувних компаній та країн світу, можна розглядати пластові води на родовищах Сумщини як потенційну сировину. Враховуючи, що всі пластові води нафтових

родовищ Дніпрово-Донецької западини є високомінералізованими або розсолами, вони всі можуть розглядатись як гідромінеральна сировина. Але це питання потребує більш детального, не тільки гідрогеологічного, а й економічного, вивчення з огляду на рентабельність їх вилучення. Для цього необхідне виконання детальних хімічних аналізів води на стадіях розвідки та початкових стадіях розробки нафтових родовищ.

Список використаних джерел

1. Васильев А. Н., Прогноз техногенного засоления почв на нефтепромыслах в северо-восточном регионе Украины / А. Н. Васильев, Н. Е. Журавель, В. П. Клочко. – Харьков: Экограф, 1999. – 86 с.
2. Від вогню та води до електрики [Електронний ресурс] / [В. І. Бондаренко, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин та ін.] // Енергетика. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-1/part-2/section-8/8-6>.
3. Депутат Б. Ю. Підвищення екологічної безпеки нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 / Депутат Богдан Юліанович. – Івано-Франківськ, 2006. – 15 с.
4. Мехтиев У. Ш. Воды нефтегазовых месторождений Абшеронского полуострова как сырье для получения ценных компонентов / У. Ш. Мехтиев, Ф. М. Гаджиев // Фундаментальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии: Мат-лы междунар. конф., посвящ. 80-летию А. А. Карцева. – М.: ГЕОС, 2005. С. 309–312.
5. Пугач О. П. Технологии для переработки попутных подземных вод [Електронний ресурс] / О. П. Пугач, О. В. Уланова, Е. В. Зелинская // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал): Неделя горняка-2002: семинар №21; Иркутский государственный университет. – Иркутск, 2003. – № 8. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-dlya-pererabotki-poputnyh-podzemnyh-vod>.
6. Система оцінки та прогнозу санітарно-гігієнічного стану питних підземних і поверхневих вод в районах розташування підприємств ВАТ "Укрнафта" / М. Ю. Журавель, П. В. Клочко, В. М. Бульбас, Г. А. Лісовий // Нафтова і газова промисловість. – 1998. – №3. – С. 5–11.
7. Ayad A. Al-Haleem, Components and Treatments of Oilfield Produced Water / Ayad A. Al-Haleem, Hamed H. Abdulah // Al-Khwarizmi Engineering Journal. – 2010. – Vol. 6, №1. – P. 24-30.

M. Reva, PhD Student
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: Reva_max@ukr.net

PRODUSED WATER – SOURCE OF POLLUTION OR VALUABLE RESOURCE IN THE EASTERN OIL REGION, UKRAINE

The paper describes the problem of extracting stratal water in the oil and gas fields. The author analyzes how this water can affect the environment and its security. The article defines the main directions and factors related to the pollution of aquifers, surface water and soil stratal waters. The purpose of the study is to investigate the basic components and chemical compounds which are dissolved in produced water and cause the pollution. The paper analyzes the environmental problems which were caused as a result of discharge, infiltration and storage of water reservoir. Examples of pollution of stratal waters which were pre-cleaned before discharging are also described. These problems are taken and described on the basis of Ukrainian and international experience. These examples show that the issue of environmental pollution is important for Ukrainian oil and gas geology in eastern oil region (the Dnieper-Donets basin). We investigated the problems, which occurs after entering of the water reservoir into other geological and ecological systems. This causes the disturbance of natural equilibrium and further raises a number of other problems. The author highlights the main problems – pollution of aquifers exploited for drinking and household water supply, pollution of surface waters, and salinization of fertile agriculture soils. These issues are very relevant because the land and water using is more important than the oil and gas extraction. The monitoring for the determination of the chemical elements and contained compounds in reservoir water at the early stages of development and directly during the operation is proposed. This will simplify the selection of the methods for operational localization of the pollution and methods for purification of produced water. General information about the content of such components as Br, B, I, Li and others in the extracted water gives the possibility to consideration this raw material for production.

Keywords: produced water, environment, pollution, stratal water, salinity, infiltration.

M. Рева, асп.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: Reva_max@ukr.net

ПОПУТНО-ПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ В ВОСТОЧНОМ НЕФТЕГАЗОВОМ РЕГИОНЕ УКРАИНЫ КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИЛИ ЦЕННЫЙ РЕСУРС

Цель исследования – проанализировать проблему добычи попутно-пластовых вод на нефтяных и газовых месторождениях с точки зрения их влияния на окружающую среду и экологическую безопасность; определить основные направления, по которым происходит загрязнение водоносных горизонтов, открытых водоемов и почв пластовыми водами добычаемых вместе с нефтью или газом; исследовать основные химические компоненты и соединения, которые растворены в попутно-пластовой воде и именно за счет которых и возникает загрязнение.

Проанализированы экологические проблемы, вызванные сбросом, инфильтрацией, хранением пластовых вод, как на мировом, так и на отечественном опыте, приведены примеры загрязнения пластовыми водами, которые прошли предварительную очистку перед сбросом. На этих примерах показано, что для промышленной нефтегазовой геологии Украины вопрос загрязнения окружающей среды является актуальным для Восточного нефтегазового региона (Днепро-Донецкая впадина). Суть проблемы заключается в том, что в случае попадания пластовой воды в геологические и экологические системы окружающей среды будет нарушено естественное равновесие, что в дальнейшем вызовет ряд проблем. Среди основных из них можно выделить: загрязнение водоносных горизонтов, эксплуатируемых для питьевого и хозяйственного водоснабжения; загрязнение поверхностных водоемов; засоление плодородных почв, используемых для ведения сельского хозяйства. Эти вопросы являются весьма актуальными, поскольку в административном отношении для данного региона использование вышеуказанных ресурсов с экономической точки зрения иногда является более значимым, чем добыча нефти и газа.

В статье предлагается проводить мониторинг по определению большего количества химических элементов и веществ, которые содержатся в пластовой воде на начальных стадиях разработки и непосредственно в процессе эксплуатации. Это, в свою очередь, упростит выбор метода при необходимости оперативной локализации загрязнения. Кроме того, сведения о содержании таких компонентов, как Br, B, I, Li и др. позволят рассматривать ее как сырье по их добыче.

Ключевые слова: попутно-пластовая вода, окружающая среда, загрязнение, пластовая вода, засоленность, инфильтрация.

8. Obire O., The Environmental Impact of Oilfield Formation Water on a Freshwater Stream in Nigeria / O. Obire, F. O. Amusan // J. Appl. Sci. Environ. Mgt. – 2003. – Vol. 7(1). – P. 61–66.
9. Pettyjohn W. A. Water Pollution by Oil-Field Brines and Related Industrial Wastes in Ohio / W. A. Pettyjohn // Ohio Journal of Science (Ohio Academy of Science). – 1971, September. – Volume 71, Issue 5. – P. 257-269.

References

1. Vasylev, A.N., Zhuravel, N.E., Klochko V.P. (1999). Prognoz tekhnogennogo zasoleniia pochv na neftepromyslakh v severo-vostochnom regione Ukrainy. Kharkov. [In Russian].
2. Bondarenko, V.I., Varlamov, H.B., Volchyn I.A. et al. (2013). Vid vohniu ta vody do elektryky. Enerhetyka. Retrieved from <http://energetika.in.ua/ua/books/book-1/part-2/section-8/8-6>. [In Ukrainian].
3. Deputat, B.Yu. (2006). Pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky naftovykh rodovysch na kintsevi stadii rozrobky. Extended abstract of PhD dissertation (Ecological Safety). Ivano-Frankivsk. [In Ukrainian].
4. Mekhtyev, U.Sh., Hadzhyev, F.M. (2005). Vody neftegazovykh mestorozhdenii Absheronskogo poluostrova kak syre dlia poluchenii tsennykh komponentov. Fundamentalnye problemy neftegazovoi gidrogeologii: Proceedings of the International Conference. To the 80th anniversary of A.A. Kartsev. (pp. 309-312). Moscow: HEOS. [In Russian].
5. Puhach, O.P., Ulanova, O.V., Zelynskaia, E.V. (2003). Tekhnolohyy Tekhnologii dlia pererabotki poputnykh podzemnykh vod. Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten - Nedelia horniaka-2002: semynar №21, 8. Irkutskii gosudarstvennyi universitet. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-dlya-pererabotki-poputnyh-podzemnyh-vod>. [In Russian].
6. Zhuravel, M.Yu., Klochko, P.V., Bulbas, V.M., Lisovy, H.A. (1998). Sistema otsinky ta prohnozu sanitarno-higienichnoho stanu pytnykh pidzemnykh i poverkhnevnykh vod v raionakh roztashuvannia pidpriemstv VAT "Ukrnafta". Naftova i hazova promyslovist, 3, 5-11. [In Ukrainian].
7. Ayad A. Al-Haleem, Hamed H. Abdulah (2010). Components and Treatments of Oilfield Produced Water. Al-Khwarizmi Engineering Journal, 6, 1, 24-30.
8. Obire, O., Amusan, F.O. (2003). The Environmental Impact of Oilfield Formation Water on a Freshwater Stream in Nigeria. J. Appl. Sci. Environ. Mgt., 7(1), 61-66.
9. Pettyjohn, A.W. (1971). Water Pollution by Oil-Field Brines and Related Industrial Wastes in Ohio. Ohio Journal of Science (Ohio Academy of Science), September, 71, 5, 257-269.

Надійшла до редколегії 12.02.16

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 1(72)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування Ю.А. Тимченко

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 10,0. Наклад 300. Зам. № 216-7886.
Вид. № Гл1. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.
Підписано до друку 28.04.16

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