

Присвячується

110-річчю академіка Володимира Гавриловича Бондарчука

To the 110th anniversary of Academician Volodymyr Bondarchuk



УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР	В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Б.І. Гнатик, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; В.І. Жданов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, доц.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.Г. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Г.П. Міліневський, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, проф.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Є.Ю. Таран, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; Т.В. Пастушенко, канд. філол. наук, доц.; Т.А. Мірончук, канд. філол. наук, доц. Іноземні члени редакційної колегії: М. Бур'яник, Шелл Глобал Солюшнс Інтернешнл, Нідерланди; Л. Верник, Нафтова корпорація Маратон, США; А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, М. Короновський, Московський державний університет імені М.В. Ломоносова; Росія, Д. Ленц, Університет Нью-Брансвік, Канада; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаса Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський Державний Технічний Університет, Казахстан; Д. Робертс, Стаффордширський університет, Велика Британія; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; М. Феді, Неапольський Університет Федеріко II, Італія; О. Ханчук, Далекосхідний геологічний інститут, Росія
Адреса редколегії	03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, ННІ "Інститут геології", ☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net
Затверджено	Вченою радою ННІ "Інститут геології" 24 вересня 2015 року (протокол № 3)
Атестовано	Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 1-05/6 від 12.06.02
Зареєстровано	Міністерством юстиції України. Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43 ☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Chief publication manager O. Menshov

Formatting and adjustment by Yu. Tymchenko

EXECUTIVE EDITOR

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

EDITORIAL BOARD

Ukrainian members:

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

Foreign members:

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

Address

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

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
September 24, 2015 (Minutes # 3)

Certified by the

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

Certified by the

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

Founded and published by

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

Address:

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

ЗМІСТ

ДО ЮВІЛЕЇВ

Михайлов В., Шевчук В., Іванік О., Янченко В., Янченко І. Бондарчук Володимир Гаврилович – розбудовник української науки	8
Шаталов М. Видатний педагог, вчений-геоморфолог та тектоніст: До 110-річчя академіка В.Г. Бондарчука	13

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Жабіна Н., Анікеєва О., Колодій І., Мінтузова Л. Нові дані про стратиграфію відкладів та гідрогеохімічні умови Північно-західний шельф Чорного моря)	18
Матішук О. Палеогеографічні особливості формування метаконгломератів скелюватської світи Криворізької структури	23

ГЕОФІЗИКА

Малицький Д., Грицай О., Обідіна О., Павлова А. Визначення механізму вогнища землетрусу в районі Альберти, Канада ($\varphi=58.16^{\circ}\text{N}$, $\lambda=-115.25^{\circ}\text{E}$, $M_w=3.98$)	30
Омельченко В., Пігулевський П., Дубров Д. Використання гравірозвідки в комплексі геофізичних методів при вивченні солянокупольних структур Дніпро-Донецької западини	36
Бондар К., Цюпа І., Стахів І. Характеристика розподілів магнітної сприйнятливості ґрунтів українських міст та оцінка рівнів їх техногенного забруднення	43
Чалий О., Ільєнко В., Щербіна С. Макросейсмічні прояви землетрусу 03.02.2015 на межі Полтавської і Сумської областей	49
Тройніч К. Застосування методу SIRT для інверсії даних гравіметрії	55

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Гулій В., Побережська І., Локтєв А. "Молодий газ" в рифтогенних структурах України	59
Сидорчук В. Уранова мінералізація в пегматитах Регібатського щита (терейн Тазіаст-Тіджіріт), Мавританія	64

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Міненко Р., Міненко П., Мечніков Ю. Проблема змістовності стійких розв'язків обернених лінійних задач гравіметрії	69
---	----

ПОДІЇ

Шуцько В. Монографія "Нетрадиційні джерела вуглеводнів України"	79
---	----

CONTENTS

TO ANNIVERSARIES

Mykhailov V., Shevchuk V., Ivanik O., Yanchenko V., Yanchenko I. Volodymyr Gavrylovych Bondarchuk – developer of Ukrainian Science.....	8
Shatalov M. An outstanding teacher, scientists in geomorphology and tectonics: to 110th anniversary of academician V.G. Bondarchuk	13

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Zhabina N., Anikeyeva O., Kolodiy I., Mintuzova L. New data on the stratigraphy of deposits and hydrogeochemical conditions of Pradnieper area (North-Western part of the Black Sea shelf)	18
Matischuk O. Paleogeographic features of skelevatska suite metaconglomerates of Krivoy Rog structure	23

GEOPHYSICS

Malytskyy D., Grytsai O., Obidina O., Pavlova A. Determination of the focal mechanism of earthquake in Alberta, Canada ($\varphi=58.16^{\circ}\text{N}$, $\lambda=-115.25^{\circ}\text{E}$, $M_w=3.98$)	30
Omelchenko V., Pigulevskiy P., Dubrov D. Application of gravitational prospecting in integrated complex geophysical methods for studying salt-dome structures of Dniپر-Donets Depression	36
Bondar K., Tsyupa I., Stakhiv I. Magnetic susceptibility of soils from Ukrainian cities and evaluation of pollution levels	43
Chalyi O., Il'enko V., Scherbina S. Macroseismic effect of the earthquake occurred on 03.02.2015 at the border of Poltava and Sumy regions	49
Troinich K. On using SIRT method for gravity inversion data	55

MINERAL RESOURCES

Guliy V., Poberezh's'ka I., Loktev A. 'Young gas' in rift's structures of Ukraine	59
Sydorchuk V. Uranium mineralization in pegmatites of the Reguibat Shield (Tasiast-Tijirit Terrane), Mauritania	64

GEOLOGICAL INFORMATICS

Minenko R., Minenko P., Mechnikov Yu. Problem of sustainable solutions of the inverse linear equations in gravimetry	69
--	----

EVENTS

Shunko V. Monograph "Unconventional hydrocarbon resources of Ukraine"	79
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

К ЮБИЛЕЯМ

Михайлов В., Шевчук В., Иваник Е., Янченко В., Янченко И. Бондарчук Владимир Гаврилович и его роль в развитии украинской науки	8
Шаталов Н. Выдающийся педагог, ученый-геоморфолог и тектонист: К 110-летию академика В.Г. Бондарчука	13

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Жабина Н., Анисеева Е., Колодий И., Минтузова Л. Новые данные по стратиграфии отложений и гидрогеохимическим условиям Приднепровской площади (северо-западный шельф Черного моря).....	18
Матищук А. Палеогеографические особенности формирования метаконгломератов скелеватской свиты Криворожской структуры	23

ГЕОФИЗИКА

Малицкий Д., Грицай О., Обидина О., Павлова А. Определение механизма очага землетрясения в районе Альберта, Канада ($\varphi=58.16^{\circ}\text{N}$, $\lambda=-115.25^{\circ}\text{E}$, $M_w=3.98$)	30
Омельченко В., Пигулевский П., Дубров Д. Использование гравиразведки в комплексе геофизических методов при изучении солянокупольных структур ДДВ	36
Бондарь К., Цюпа И., Стахив И. Характеристика распределения магнитной восприимчивости почв украинских городов и оценка уровней их техногенного загрязнения.....	43
Чалый О., Ильенко В., Щербина С. Макросейсмические проявления землетрясения 03.02.2015 на границе Полтавской и Сумской областей.....	49
Тройнич К. Применение метода SIRT для инверсии данных гравиметрии	55

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Гулий В., Побережская И., Локтев А. "Молодой газ" в рифтогенных структурах Украины.....	59
Сидорчук В. Урановая минерализация в пегматитах Регибатского щита (террейн Тазиаст-Тиджирит), Мавритания.....	64

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Миненко Р., Миненко П., Мечников Ю. Проблема содержательности устойчивых решений обратных линейных задач гравиметрии	69
--	----

СОБЫТИЯ

Шулько В. Монография "Нетрадиционные ресурсы углеводородов Украины"	79
---	----

ДО ЮВІЛЕЇВ

УДК 929 : 94

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vladvam@gmail.com

В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.
E-mail: svgeol@yandex.ua

О. Іванік, д-р геол. наук, доц.
E-mail: om.ivanik@gmail.com

В. Янченко, канд. геол. наук, зав. лаб.
E-mail: yanchen@ukr.net

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

І. Янченко, канд. філол. наук, доц.
Державний університет телекомунікацій,
вул. Солом'янська, 7, м. Київ, 03680, Україна
E-mail: innian@ukr.net

БОНДАРЧУК ВОЛОДИМИР ГАВРИЛОВИЧ – РОЗБУДОВНИК УКРАЇНСЬКОЇ НАУКИ

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

У статті охарактеризовано наукову, організаційну та громадську діяльність видатного українського науковця, ректора Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка, відомого геолога В.Г. Бондарчука впродовж одного із найскладніших періодів функціонування університету – з 1944 по 1951 роки. Висвітлюється його внесок у відбудову, удосконалення та подальший розвиток української науки та геологічної царини після Другої світової війни.

29 липня 2015 року геологічною та географічною спільнотою України відзначено визначну дату – 110 років від дня народження відомого геолога, геоморфолога, вченого – Володимира Гавриловича Бондарчука, академіка АН УРСР, доктора геолого-мінералогічних наук (1941), завідувача кафедри загальної геології (1935-1941, 1944-1951), ректора (1944-1951) Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка.

В.Г. Бондарчук народився 29 липня 1905 р. у с. Денишах на Житомирщині в багатодітній сім'ї робітника залізоплавильного заводу [2]. Після закінчення учительської школи в Денишах в 1921 р. вступив і в 1924 р. закінчив природничо-географічне відділення Волинського інституту народної освіти. Пропрацювавши два роки викладачем біології, фізики і хімії сільськогосподарської школи м. Білки на Коростенщині, у 1926 р. В.Г. Бондарчук вступає до аспірантури Українського науково-дослідного геологічного інституту, а в 1938 р. захищає кандидатську дисертацію "Четвертинні відклади УРСР", в 1941 р. – докторську дисертацію "Геологічний розвиток рельєфу УРСР".

У Київському державному університеті В.Г. Бондарчук почав працювати ще в 1935 р., під час Вітчизняної війни виконував обов'язки завідувача відділу неметалевих корисних копалин в Інституті геологічних наук АН Узбецької РСР, а в 1944 р. був призначений ректором Київського державного університету. У 1951 р. В.Г. Бондарчука призначають заступником Голови Ради Міністрів УРСР, в 1953–1963 рр. він очолює Інститут геологічних наук АН УРСР, а в 1963–1986 рр. – відділ геотектоніки і четвертинної геології цього інституту [2]. Володимир Гаврилович пішов з життя у 1993 р.

Цей видатний науковець здійснив неоціненний внесок у розбудову української геологічної та географічної науки та доклав величезних зусиль для розвитку та успішного функціонування Київського університету, особливо у повоєнні роки (рис. 1). Йому довелося керувати роботою університету в дуже складні часи, адже у 1944 р. розпочався наступ радянських військ під Ленінградом. Характеризуючи ті буремні часи слід відзначити, що у цей час розвивалась операція по визволенню Правобережної України. Так, 26 березня 1944 р. з'єднання 2-го Українського фронту першими вийшли до державного кордону

СРСР, у середині квітня війська 1-го Українського фронту підійшли до передгір'я Карпат. Більшу частину Правобережної України було звільнено. За наступом на Правобережній Україні 8 квітня почалась Кримська операція 4-го Українського фронту, яка завершилась 12 травня 1944 р. повним розгромом німецько-фашистського угруповання і визволенням Криму [9].



Рис. 1. В.Г. Бондарчук на посаді ректора університету

У ті нелегкі часи для зруйнованої України В.Г. Бондарчука відкликають з Узбекистану, де він керував відділом рудних корисних копалин у Геологічному інституті Узбецької філії АН СРСР у Ташкенті, і призначають проректором, а з вересня 1944 р. – ректором Київського університету. На початку Великої Вітчизняної війни він призначений ректором Київського державного університету (із 7 липня 1941 року – до евакуації університету в Харків). З 26 жовтня 1941 року по 1 лютого 1944 року Володимир Гаврилович проводив успішну наукову роботу в Інституті геології Узбецького філіалу Академії наук СРСР на посаді професора, керував відділом рудних корисних копалин. Після повернення університету до Києва В.Г. Бондарчук продовжував працювати в ньому (з червня 1944 року) професором, завідував кафедрою загальної геології, був проректором із навчальної роботи. З 7 серпня 1944 року по 15 листопада

1951 року він обіймав посаду ректора (затверджений на посаді Народним комісаріатом освіти УРСР 15 серпня 1944). Першочерговим завданням на цьому етапі для нового керівника було відновлення зруйнованих університетських навчальних корпусів, гуртожитків і лабораторій. Володимир Гаврилович інтенсивно та всебічно сприяв відновленню й зміцненню матеріальної бази

університету (рис. 2-4) [5]. Проглянувши архівні фотографії, можна лише уявити, скільки зусиль необхідно було для реорганізації не лише будівель, але й наукового потенціалу університету. Забігаючи наперед, необхідно сказати, що це завдання Володимир Гаврилович виконав з честю. До 1950 року в університеті діяло вже 12 факультетів.



Рис. 2. Червоний корпус університету після визволення Києва від нацистських загарбників. Вигляд пошкодженого південного крила будівлі з вул. Володимирської і частково Ботанічного саду, листопад 1943 р. [8]



Рис. 3. Червоний корпус університету. Руйнування, вигляд з західної сторони з боку Ботанічного саду, листопад 1943 р. [8]



Рис. 4. Червоний корпус університету під час відбудови згідно з проектом відновлення та реконструкції, складеним у 1944-1945 рр. під керівництвом архітектора П.Ф. Альошина [8]

У 1944–45 навчальних роках в університеті було відкрито нові факультети: філософський, економічний та міжнародних відносин. Геолого-географічний факультет реорганізувався у два факультети: геологічний та геогра-

фічний. Створено нові кафедри на різних факультетах, розпочалося відновлення бібліотеки, кабінетів, музеїв. Постановою Ради народних комісарів УРСР від 15 червня 1945 року організовано Науково-дослідний інститут фізіо-

логії Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка [1]. За підтримки В.Г. Бондарчука в цей час починається новий якісний виток у розвитку філософії в Київському університеті. Саме тоді відроджується філософський факультет у складі трьох кафедр: діалектичного та історичного матеріалізму (завідувач проф. Ф.Ф. Єневич), педагогіки (завідувач проф. С.Х. Чавдаров) та психології (завідувач проф. О.М. Раєвський). На факультеті вивчалися латинська, грецька, англійська, французька й німецька мови, дарвінізм, історія стародавніх Греції та Риму, логіка, математика, психологія. Того ж року філософський факультет став готувати фахівців за спеціальностями філософія, психологія і логіка [12].

Багато зусиль Володимиром Гавриловичем було покладено на створення факультету міжнародних відносин з метою підготовки практичних працівників Міністерства закордонних справ. На підставі наказу наркома освіти УРСР від 18 жовтня 1944 року в Київському університеті було відкрито факультет міжнародних відносин. Очолювали факультет у перші повоєнні роки І.А. Василенко та М.П. Овчаренко.

За підтримки В.Г. Бондарчука створено Науково-дослідний інститут фізіології імені академіка Петра Богача Київського університету імені Тараса Шевченка згідно з Постановою Ради Народних комісарів України за № 867 від 15 червня 1945 року "Про відновлення роботи Науково-дослідного інституту біології при Київському державному університеті і перейменування його в Науково-дослідний інститут фізіології тварин". У той час це був єдиний інститут фізіології в Україні. У складі Інституту були затверджені сектори: загальної фізіології, фізіології центральної нервової системи і поведінки, прикладної фізіології та гістофізіології. Науковими керівниками Інституту фізіології були призначені професор А.І. Ємченко, чл.-кор. АН України Д.С. Воронцов і доцент С.Д. Шестаков. За період існування інституту основними напрямками його діяльності були розробка фундаментальних проблем фізіології травлення та з'ясування закономірностей шляхів регуляції життєдіяльності клітин, органів і функціональних систем. Ці напрямки стали основою створення в Інституті наукової школи світового рівня "Фундаментальні проблеми фізіології травлення", засновником якої був академік П.Г. Богач. У 1945-1950 роках та у 1952 році директором НДІ фізіології був доцент С.Д. Шестаков, у 1951-1952 роках – доцент В.А. Демидов [7]. Слід відзначити, що в 2010 році НДІ фізіології увійшов до складу Навчально-наукового центру "Інститут біології".

В 1944 році географічний факультет почав функціонувати як самостійний підрозділ Київського університету. В 1949 р. до існуючих кафедр фізичної географії, економічної географії, геодезії та картографії додалися новостворені кафедри метеорології та кліматології; гідрології суші. Значною заслугою В.Г. Бондарчука є заснування у 1949 р. в Київському університеті першої в Україні кафедри геоморфології.

Після розділення геолого-географічного факультету в 1944 до кінця 1945 року на геологічному факультеті було відкрито значну кількість кафедр, на яких працювали провідні геологи України: С.П. Родіонов, В.І. Луцицький, М.П. Семененко та інші. Кафедру загальної геології очолював сам В.Г. Бондарчук. Кафедру геології СРСР – І.Є. Слензак, академік Б.І. Чернишов очолював кафедру історичної геології та палеонтології. Кафедрою мінералогії завідував М.К. Шматько, якого згодом змінив С.П. Родіонов. Кафедру петрографії очолював ак. В.І. Луцицький, а геохімії – Б.О. Гаврусевич. Кафедру корисних копалин очолював академік М.П. Семененко. Також було створено нові кафедри: гідрогеології та інженерної геології, очолювану К.І. Маковим, та геофізичних

методів пошуків та розвідки родовищ корисних копалин, якою завідував академік В.А. Сельський, а згодом І.А. Балабушевич [5]. Такі фахівці, із значним досвідом роботи у геологічній галузі, педагогічними наробками, безумовно здійснювали великий внесок у відновлення та розвиток геологічної науки в Україні на світовому рівні.

Слід зазначити, що у травні 1945 року Володимир Гаврилович входив до складу української делегації, що брала участь в установчій конференції Організації Об'єднаних Націй (м. Сан-Франциско, США). На заключному засіданні конференції ООН було відзначено, що делегація України зробила вагомий внесок у створення ООН [10]. У сьогоденному вирії подій такі зусилля академіка В.Г. Бондарчука мають безцінне значення, оскільки сьогоденний статус України як члена Організації Об'єднаних Націй дає можливість впливати на геополітичну ситуацію у світі і бути рівноправним членом світового політичного простору, впливаючи на важливі суспільні рішення.

Незважаючи на великі труднощі у відбудові та реорганізації університету в післявоєнні роки, В.Г. Бондарчук плідно займався улюбленою справою – геологією. Не дивлячись на порівняно короткий термін його діяльності у стінах університету, закладені ним у науковий пошук та навчальний процес фундаментальні підвалини сприяли формуванню конкурентоздатної геологічної школи. З 1944 по 1951 роки ним було опубліковано шість великих праць: два підручники, видані українською мовою, зокрема із загальної геології (1946) та основ геоморфології (1950), а також чотири монографії. Перші монографії вийшли в світ 1946 року: "Тектоорогенез", "Геологічна структура УРСР" [11], у 1947 році було видано роботу "Геологічна будова УРСР" (рис. 5), а пізніше – "Минеральные богатства УССР" (1948) [4].

В.Г. Бондарчук зробив значний внесок у розвиток фундаментального напрямку в геології – тектоорогенії та вчення про тектоносферу [6], що висвітлює процес тектонічного розвитку Землі на основі положення про єдність процесу розвитку структури й рельєфу земної кори. Значна частина його наукових досліджень присвячена геології та геотектоніці території України. Він – автор першої праці з геологічної структури території України, праць із проблем глибинної геології Дніпроводо-Донецької й Причорноморської западин, Криму, Карпат.

Характеризуючи університетський період наукової діяльності Володимира Гавриловича, особливо підкреслимо регіонально-геологічну доказову базу його концепції. Вже у "Тектоорогенії" стисло, але достатньо повно висвітлені наявні на той час дані щодо будови архейд Східноєвропейської платформи, каледонід Норвегії, Шотландії і східної Австралії, уралід Євразії, варисцид Західної Європи і Північної Америки, Середземноморського поясу Євразії і заходу Американського материка, альпід Середземномор'я, Середньої Азії та Тихоокеанського узбережжя. Зокрема, ґрунтовно проаналізовано роботи провідних дослідників тих чи інших регіонів і цей аналіз постійно супроводжується власними коментарями та висновками. Цей регіонально-геологічний аспект у творчості В.Г. Бондарчука знав справжнього розквіту у 50-ті та 60-ті роки минулого сторіччя, коли він сконцентрував свою увагу на проблемах геології України. Ще раз наголосимо, що В.Г. Бондарчук вирізнявся надзвичайно широким колом наукових інтересів, які істотно відображали його потяг та відданість наукам про Землю. Великий життєвий науковий доробок цієї видатної людини засвідчує загальний список наукових та навчально-методичних публікацій, що налічує понад 230 наукових праць, серед яких 27 підручників і монографій, присвячених регіональній геології, тектоніці, геоморфології, а також орогенічним питанням геології.

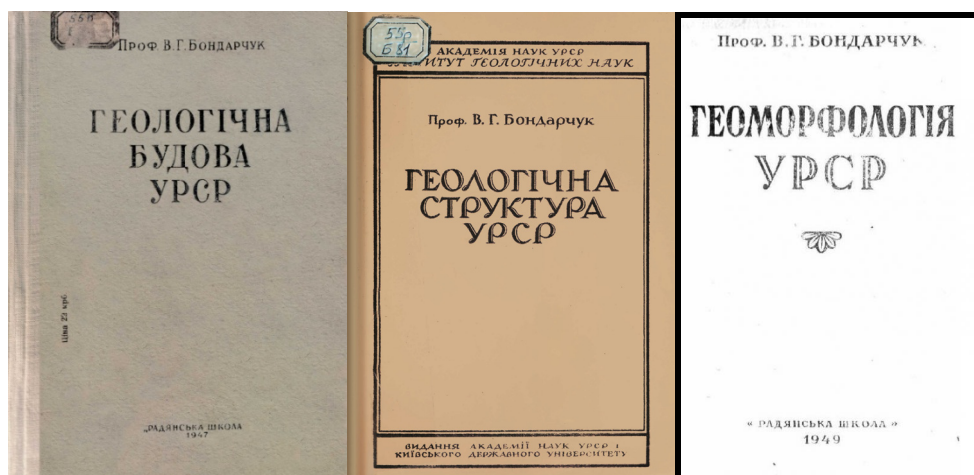


Рис. 5. Наукові праці В.Г. Бондарчука: "Геологічна будова УРСР", "Геологічна структура УРСР", "Геоморфологія УРСР"

На рівні монографічних видань, окрім вже згаданих, він опрацьовував проблеми структурної геоморфології, стратиграфії четвертинних відкладів, палеогеографії, лесоутворення та багатьох інших фундаментальних питань геологічних та географічних наук. Прикладами розв'язання геологічних "ребусів" на високому науково-методологічному рівні можуть бути дослідження, здійснені академіком В.Г. Бондарчуком в області геоморфології, палеогеографії та четвертинної геології. Він плідно вивчав рельєфотвірні процеси та формування четвертинних утворень у межах терасових комплексів багатьох річок України, проводив палеонтологічні вишукування, вивчаючи фауну молюсків четвертинного віку. Як узагальнення цих досліджень було визначено головні риси палеогеографії та умови осадконакопичення на території України та Молдови в антропогені.

На особливу увагу заслуговують роботи, присвячені стратифікації та стратиграфії лесового покриву України, адже вивчення еталонної лесової формації на теренах нашої держави до сьогодні є актуальним і необхідним. Загалом аналіз особливостей четвертинного періоду, вивчення льодовикових процесів та відкладів, розробка стратиграфічних схем сприяли вирішенню ряду важливих методичних та методологічних питань геології. Значення цих робіт виходить далеко за межі антропогену.

Безсумнівним є той факт, що результати наукових досліджень академіка В.Г. Бондарчука здійснили значний вплив на підвищення ефективності геологорозвідувальної справи та розвитку мінерально-сировинної бази України. Ним було докладено багато зусиль та особистої енергії для розвитку уявлення про нафтогазоносність багатьох регіонів України, зокрема Дніпровсько-Донецької западини, Причорномор'я та Чорноморської западини.

Окремо слід відзначити плідну організаційну та наукову працю академіка В.Г. Бондарчука у створенні геологічних та спеціальних карт, зокрема тектонічних і літолого-фаціальних карт України, палеогеографічних атласів тощо, які є дійсним скарбом геологічної картографії. Їх змістовність та наукова цінність до сьогодні відзначається багатьма науковцями. До того ж, В.Г. Бондарчук був активним учасником та науковим керівником геологічної зйомки у багатьох областях України.

Структурно-тектонічний напрямок наукової діяльності академіка В.Г. Бондарчука знайшов продовження у роботі школи "Структурного аналізу", що функціонує на кафедрі загальної та історичної геології ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. При цьому в рамках цієї школи визначилися два наукові напрямки: "Тектонофаціальний аналіз дислокаційної тектоніки докембрію Українського

щита" (професор О.І. Лукієнко) та "Реконструкція динамо-кінематичних умов та механізмів структуроутворення у різновікових складнодеформованих комплексах" (професор В.В. Шевчук) [3]. Нові результати досягнуто завдяки комплексуванню традиційних методів структурного аналізу та сучасних тектонофізичних і петроструктурних методів, що дозволяє ідентифікувати різновікові структурно-текстурні елементи та їх парагенезиси, що характеризують головні етапи тектогенезу; створити моделі тектонічного розвитку тих чи інших структурних форм; дати прогнозну оцінку відповідних структур.

Таким чином, наукові ідеї великого вченого знайшли продовжувачів в Україні і поза її межами, а його багатогранна творча діяльність у багатьох напрямках геології зайняла почесне місце в українській та світовій геологічній науці. У Києві, на вулиці Льва Толстого, 13, де з 1944 по 1993 рік жив вчений, встановлено гранітну меморіальну дошку (рис. 6).

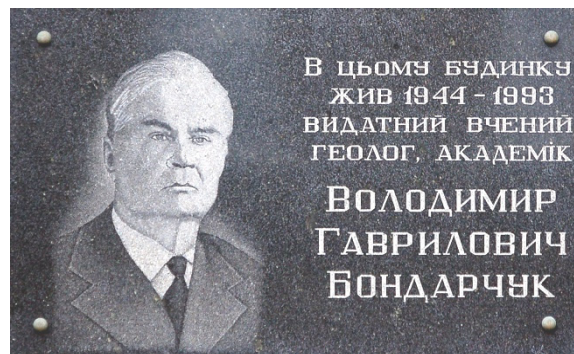


Рис. 6. Фото меморіальної дошки Києві, на вулиці Льва Толстого, 13, де з 1944 по 1993 рік жив В.Г. Бондарчук

Список використаних джерел

1. Архів під час Другої світової війни періоду 1941–1945 років. [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://cdiak.archives.gov.ua/v_davnix_aktiv.php.
2. Бондарчук, Владимир Гаврилович. [Електронний ресурс] – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Бондарчук_Владимир_Гаврилович.
3. Воєнні дії у 1944 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://ukrmap.su/uk-wh11/1294.html>.
4. Гожик П.Ф. Життя і наукова діяльність академіка В.Г. Бондарчука [Текст] : збірник наукових трудов / П. Гожик, Я. Олійник, В. Стецюк // Енергетика землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання : 36. наук. пр. – К., 2006. – С. 13-15.
5. Історія НДІ фізіології імені академіка Петра Богача. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://biology.univ.kiev.ua/naukovo-doslidna-baza/naukovo-doslidnij-institut-fiziologii-imeni-akademika-petra-bogacha/istoriya-ndi-fiziologii-imeni-akademika-petra-bogacha/1240-istoriya-ndi-fiziologii-imeni-akademika-petra-bogacha.html>.
6. Київський національний університет імені Тараса Шевченка [Текст] : імена славних сучасників / Авт.-упоряд. О. Матвійчук, Н. Струк, Ред. П.

Ромко, Редкол. В.В. Скопенко (голова) та ін. – Київ : Світ успіху, 2004. – 287 с.; 30 см. – ISBN 966-8352-00-9 (в тв. обл.).

7. Михайлов В. А. Внесок В.Г. Бондарчука у розвиток геологічної науки / В. А. Михайлов, В. В. Шевчук, О. М. Іванік // *Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання*. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2006. – (36. наук. праць). – С. 19–21.

8. Нариси з історії геологічних досліджень у Київському університеті. – за редакцією В. Г. Молявка, О. В. Зінченка. Київ: Рада, 1999. – С. 134–143.

9. Ректори Київського університету. 1834–2006 / КНУТШ; В. В. Скопенко, В. А. Короткий, Т. В. Табенська, І. І. Тіщенко, Л. В. Шевченко. – Київ : Либідь, 2006. – С. 231–233.

10. Створюємо цінність. [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://www.logos-ukraine.com.ua/project/index.php?project=nued2&load=edu_schools_bondarchuka.htm.

11. Філософський факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка. [Електронний ресурс] – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Філософський_факультет_КНУ.

12. Шаталов М. М. Творці тектоорогенії. Учитель і учень (до 110-річчя академіка В. Г. Бондарчука і 90-річчя академіка І. І. Чебаненка). [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vnanu_2015_6_16.pdf.

References

1. Archive during World War II period 1941–1945. (n.d.). *cdiak.archives.gov.ua*. Retrieved from http://cdiak.archives.gov.ua/v_davnix_aktiv.php [in Ukrainian].

2. Bondarchuk, Vladimir Havrilovich. (n.d.). *ru.wikipedia.org*. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Bondarchuk,_Vladimir_Havrilovich [in Russian].

3. Military actions in 1944. (n.d.). *ukrmap.su*. Retrieved from <http://ukrmap.su/uk-wh11/1294.html> [in Ukrainian].

4. Gozhyk, P. et al. (2005). *Zhyttia i naukova diialnist akademika V.H. Bondarchuka* [The life and work of Academician V. Bondarchuk]. In *Ener-*

getyka zemli, yii geoloho-ekologichni proiavy, naukovo-praktychne vykorystannia [Energy of the Earth, its geological and environmental implications, the scientific and practical use] (pp. 13–15) Kyiv [in Ukrainian].

5. History of Scientific Research Peter Bogach Institute of Physiology. (n.d.). *biology.univ.kiev.ua*. Retrieved from <http://biology.univ.kiev.ua/naukovo-doslidna-baza/naukovo-doslidnij-institut-fiziologii-imeni-akademika-petra-bogacha/istoriya-ndi-fiziologii-imeni-akademika-petra-bogacha/1240-istoriya-ndi-fiziologii-imeni-akademika-petra-bogacha.html> [in Ukrainian].

6. Taras Shevchenko National University of Kyiv. (2005). *Famous persons*. Kyiv: Svit uspihu. [in Ukrainian].

7. Mykhailov, V., Shevchuk, V., Ivanik, O. (2005). *Vnesok V.H. Bondarchuka u rozvytok geologichnoi nauky* [Contribution of V. Bondarchuk to the development of geological science]. In *Energetyka zemli, yii geoloho-ekologichni proiavy, naukovo-praktychne vykorystannia* [Energy of the Earth, its geological and environmental implications, the scientific and practical use] (pp. 19–21). [in Ukrainian].

8. Molyavko, V., Zinchenko, O. (Eds.). (1999). *Narysy z istorii geologichnykh doslidzhen u Kyivskomu universyteti* [Essays on the history of geological research in the University of Kiev]. (pp. 134–143) Kyiv: Rada. [in Ukrainian].

9. Skopenko, V., Korotky, V., Tabenska, T., Tischenko, I., Shevchenko, L. (2006). *Rektory Kyivskoho universytetu. 1834-2006* [Rectors of the University: 1834–2006]. (pp. 231–233) Kyiv: Lybid. [in Ukrainian].

10. We create value. (n.d.). *logos-ukraine.com.ua*. Retrieved from http://www.logos-ukraine.com.ua/project/index.php?project=nued2&load=edu_schools_bondarchuka.htm [in Ukrainian].

11. Faculty of Philosophy of Taras Shevchenko National University of Kyiv. (n.d.). *uk.wikipedia.org*. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Філософський_факультет_КНУ [in Ukrainian].

12. Shatalov, M. Creators of tectoorogeny. Teacher and student: To the 110th anniversary of academician V. Bondarchuk and the 90th anniversary of academician I. Chebanenko. *nbuv.gov.ua*. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vnanu_2015_6_16.pdf [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 03.09.15

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

E-mail: vladvam@gmail.com

V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

E-mail: svgeol@yandex.ua

O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: om.ivanik@gmail.com

V. Yanchenko, Cand. Sci. (Geol.), Head of Laboratory

E-mail: yanchen@ukr.net

Institute of Geology

Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

I. Yanchenko, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.

E-mail: innian@ukr.net

State University of Telecommunications

7 Solomenska Str., Kyiv, 03680 Ukraine

VOLODYMYR GAVRYLOVYCH BONDARCHUK – DEVELOPER OF UKRAINIAN SCIENCE

The article explores scientific, administrative, and public activity of V.G. Bondarchuk – prominent Ukrainian scientist, renowned geologist, rector of Taras Shevchenko State University of Kyiv in 1944–1951, the most strenuous period in the University operation. It highlights his contribution to Ukrainian geological science during the post war period to promote its further development and advancement.

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vladvam@gmail.com

В. Шевчук, д-р геол.-минералог. наук, проф.

E-mail: svgeol@yandex.ua

О. Иваник, д-р геол. наук, доц.

E-mail: om.ivanik@gmail.com

В. Янченко, канд. геол. наук, зав. лаб.

E-mail: yanchen@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

И. Янченко, канд. филол. наук, доц.

E-mail: innian@ukr.net

Государственный университет телекоммуникаций

ул. Соломенская, 7, г. Киев, 03680, Украина

БОНДАРЧУК ВЛАДИМИР ГАВРИЛОВИЧ И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ УКРАИНСКОЙ НАУКИ

В статье охарактеризована научная, организационная и общественная деятельность известного украинского ученого, ректора Киевского государственного университета им. Т.Г. Шевченко, геолога В.Г. Бондарчука в период одного из самых трудных этапов функционирования университета – с 1944 по 1951 годы. Описывается его вклад в восстановление, усовершенствование и дальнейшее развитие украинской науки и непосредственно геологии после Второй мировой войны.

УДК 55.092

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

ВЫДАЮЩИЙСЯ ПЕДАГОГ, УЧЕНЫЙ-ГЕОМОРФОЛОГ И ТЕКТОНИСТ: К 110-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА В.Г. БОНДАРЧУКА

(Рекомендовано членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, проф. О.М. Іванік)

Статья посвящена гениальному украинскому ученому-геологу, основоположнику нового научного направления, талантливому теоретику и практику академику Владимиру Гавриловичу Бондарчуку в связи с его 110-летием со дня рождения. Рассмотрены основные этапы жизни ученого, его достижения в области тектоники, геоморфологии, четвертичной геологии и геологии рудных месторождений. Особо отмечена его роль в создании геоморфологической и тектонической научных школ и нового научного направления – тектоорогении.

Среди замечательной плеяды выдающихся ученых-естественников Украины имя академика Владимира Гавриловича Бондарчука занимает особое место. В масштабах прошлого XX и наступившего XXI века, ученый, несомненно, – личность великая. Во многих областях он оставил огромное научное наследие, которое вошло в сокровищницу мировой географической и геологической науки. Прежде всего, он, – геолог-тектонист, основоположник украинской тектонической науки и патриарх крупных геоморфологической и геологической школ. В.Г. Бондарчук, кроме того, был исследователем геологии антропогена, палеонтологом и стратиграфом, геологом-картографом и рудным геологом. Он также был крупнейшим теоретиком и практиком, педагогом, организатором науки и общественным деятелем [1-6]. Он заслуженный деятель науки, лауреат Государственной премии, профессор, академик. В 39 лет В.Г. Бондарчук стал ректором (1944–1951) Киевского государственного университета им. Т.Г. Шевченко. Затем он занимал должность заместителя Председателя Совета Министров УССР (1951–1953), директора Института геологических наук АН УССР (1953–1963) и заведующего отделом геотектоники и четвертичной геологии этого института (1963–1979).

Владимир Гаврилович родился 29 июля 1905 г. в с. Денеши Житомирской области в многодетной семье рабочего железоплавильного завода. В школу пошел в шесть лет. После ее окончания в 1921 г. поступил в Житомирский институт народного образования, который закончил в 1924 году. Любовь к геологии ему привил известный в то время профессор С.В. Бельский. Дипломную работу "Геологический очерк с. Белки, как материал для экскурсий" студент Бондарчук выполнил по материалам личных исследований. После окончания Института он два года работал учителем географии, биологии, физики и химии в школе с. Белки на Коростенщине. Как свидетельствовали ученики этой школы, кроме интересных уроков, учитель географии проводил экскурсии в каньонообразные долины рек Белая и Тетерев, где обнажаются докембрийские кристаллические породы Украинского щита [6].

В 1926 г. В.Г. Бондарчук поступил в аспирантуру Института геологических наук АН УССР по специальности "Палеонтология и стратиграфия". Во время учебы в аспирантуре В.Г. Бондарчук работал в Геологическом управлении на должностях коллектора, геолога, начальника геологосъемочной партии, заведующего сектором составления геологических карт. Уже в то время при его участии и под его руководством было составлено 40 листов геологической карты 1:200 000 и обзорная геологическая карта УССР масштаба 1:1 000 000. После окончания аспирантуры в 1929 г. он защитил научную работу на тему "Каспийские отложения северо-восточного побережья Азовского моря" и получил звание научного сотрудника.

В 1933 г. в Киевском университете был образован новый геолого-географический факультет, а в 1935 г.

В.Г. Бондарчук был приглашен на кафедру геологии. На факультете, кроме того, он стал заместителем декана. В течение многих лет молодой ученый читал студентам лекции по геоморфологии, четвертичной геологии, общей геологии и тектонике.

Как свидетельствует его студент и аспирант А.М. Маринич [6], лекции В.Г. Бондарчука раскрывали главные закономерности формирования рельефа поверхности Земли, освещали морфоструктурные особенности, демонстрировали роль географических факторов (климатических, гидрологических) в формировании экзогенных форм рельефа и роль антропогенной деятельности в изменении земной поверхности. Со студентами педагог регулярно проводил геологические и геоморфологические экскурсии в долину р. Днепр, в яры и балки окрестностей Киева. Здесь студенты знакомились с лессовыми, ледниковыми и водноледниковыми отложениями антропогена, неогена и палеогена и разнообразными формами рельефа. Особый интерес у студентов вызывала экскурсия в район знаменитых Каневских дислокаций.

В 1938 г. Владимир Гаврилович успешно защитил кандидатскую диссертацию "Четвертичные отложения УССР" и возглавил кафедру общей геологии. В том же году он был назначен деканом геолого-географического факультета КГУ. В феврале 1941 г. молодой ученый успешно защитил докторскую диссертацию на тему: "Геологическое развитие рельефа УССР". На основе этой работы Бондарчуком был опубликован учебник для студентов геолого-географического направления "Геоморфология УССР" [4] и "Основы геоморфологии" [3], которым пользуются в университетах и поныне.

Значительной заслугой Владимира Гавриловича является образование кафедры геоморфологии, первой на Украине, на географическом факультете Киевского университета. Созданная по его инициативе кафедра подготовила сотни специалистов-геоморфологов, а вместе с Институтом геологических наук АН УССР способствовала образованию научной геоморфологической школы академика В.Г. Бондарчука [6].

В начале войны В.Г. Бондарчук был откомандирован в Среднюю Азию. С октября 1941 г. он руководил отделом рудных полезных ископаемых в Геологическом институте Узбекского филиала АН СССР в г. Ташкент. Там он изучал крупнейшее в Средней Азии месторождение золота Нура-Тау и месторождения редких металлов, а также принимал участие в геологическом обосновании строительства народных строек – Северо-Ташкентского канала и Фархад ГЭС. В тот же период профессор В.Г. Бондарчук читал лекции по геологии студентам Ташкентского политехнического института.

В феврале 1944 г. В.Г. Бондарчука отзывают из Узбекистана и назначают проректором, а с сентября 1944 г. – ректором Киевского государственного университета им. Т.Г. Шевченко. Первоочередной задачей для него в этот период являлось восстановление разрушенных корпусов и лабораторий университета. Это задание

было с честью выполнено: в 1950 г. в университете возобновили обучение студентов на 86 кафедрах 12-ти факультетов. Будучи ректором, В.Г. Бондарчук с 1 мая по 8 сентября 1945 г. в составе делегации Советской Украины принимал участие в работе Конференции Объединенных наций в Сан-Франциско (США).

В 1951 г. В.Г. Бондарчука избирают действительным членом академии наук УССР и назначают на государственную должность заместителя Председателя Совета Министров УССР по вопросам образования, науки и культуры. Но даже в этот период жизни он усердно занимался теоретическими исследованиями в области своей любимой науки – геологии.

В 1953 г. В.Г. Бондарчук стал директором Института геологических наук АН УССР и в течение 10 лет руководил крупным научным коллективом страны. При его руководстве ИГН достиг по многим геологическим направлениям значительных успехов. Его научно-организаторские успехи и слава ученого не давали покоя некоторым партийным бонзам. В.Г. Бондарчуку предъявили смешную претензию – дал 10 рублей "чаевых" портному за пошив шикарного костюма. Как всегда, причина нашлась. И гений тектонической науки вынужден был подать в отставку, а за ней – унижения, болезни и другие "прелести".

Знакомясь с учебниками по геоморфологии В.Г. Бондарчука [3, 4] и других авторов, можно отметить следующее. Если, например, в учебнике *"Общая геоморфология"* И.С. Щукина внимание уделено простой характеристике определенных типов и форм рельефа (например, "пустынь", "гор" и др.), то в учебнике В.Г. Бондарчука *"Основы геоморфологии"* главное внимание уделялось установлению взаимосвязи между развитием рельефа того или иного региона с его геологической структурой [3]. Такой оригинальный подход вскрывал генетические взаимосвязи между глубинными и приповерхностными структурами земной коры и способствовал более детальному изучению предмета.

В монографиях по проблемам геоморфологии В.Г. Бондарчук, кроме того, развивает новый метод структурно-геоморфологического анализа. Представители классической динамической геоморфологии метод Бондарчука вначале не признают. Необходимо было время для осмысления его идей и обстоятельного анализа геологического материала и рельефа. Первыми признали значение структурно-геоморфологического метода китайские ученые. Из нескольких учебников по геоморфологии они отдали предпочтение *"Основам геоморфологии"* Бондарчука и перевели его книгу на китайский язык. Новым толчком в развитии метода послужили широко развернувшиеся геологосъемочные работы в 50–60-х годах XX столетия.

Исследования В.Г. Бондарчука в области геоморфологии на раннем этапе его геологической деятельности были тесно связаны с изучением четвертичных осадков различных регионов. В дальнейшем эти исследования были углублены, получили принципиально новую теоретическую и методологическую направленность. Так постепенно ученым были заложены основы структурно-геоморфологического анализа, которые сформировались затем в новое научное направление с соответствующими методами исследований. Приоритет Владимира Гавриловича в этой области основывается на выявлении им тесной взаимосвязи между эволюционным развитием геологической структуры земной коры и ее отображением в рельефе земной поверхности.

Ярким примером такой взаимосвязи являются солянокупольные структуры Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Отображение их в ландшафте было зафиксировано В.Г. Бондарчуком в наличии зон поднятий, которые повсеместно окаймляются руслами современных рек и отличаются сравнительно высоким

и глубоким (по глубине вреза) расчленением, а также поднятым положением кровли и подошвы палеогеновых пород. На основе использования этих параметров ученый предложил принципиально новую методику поисков солянокупольных структур. На составленной им прогнозной геологической карте было выделено ряд перспективных структур. В их границах позже были не только выявлены солянокупольные структуры, но и открыты месторождения нефти и газа. Критерии поисков солянокупольных структур в ДДВ в дальнейшем были детализированы и использованы исследователями региона. Здесь они приобрели характер отдельных методических и теоретических разработок структурно-геоморфологического анализа изучаемой территории.

В конце концов, идеи Бондарчука победили. Его структурно-геоморфологический метод до сих пор широко используется при проведении геологических исследований в разных частях Украины, Европы и Азии. Подтверждением идей ученого в области разработанного им структурно-геологического анализа может служить также доказательство синхронности образования горных уступов в Средней Азии, что рассматривается как следствие единства процессов развития геологической структуры и рельефа земной поверхности.

Исследования В.Г. Бондарчука в области геоморфологии тесным образом связаны с развитием его тектонических идей. Впервые они были опубликованы в статье *"Геоморфология геосинклиналей"* [1]. И хотя эта статья имеет явную тектоническую направленность, некоторые положения в ней свидетельствуют о глубоком и комплексном понимании рельефа земной коры, который отображает и конкретизирует тектонические движения. Выдвигая идею о единстве "геотектогенеза" и "геоморфогенеза", В.Г. Бондарчук отмечает, что это всего лишь разные формы единого процесса развития земной коры. Под этим углом зрения вся сложная картина геологических явлений воспринимается как единая цепь, в которой исторично изменяются лишь отдельные его кольца, изменяются закономерно в общем движении и соответствующей соподчиненности.

В геоморфологическом понимании соподчиненность представляется Владимиру Гавриловичу в том плане, что развитие рельефа Земли в целом или значительных ее геологических структур типа геосинклиналей происходит через определенные фазы: тектоническую – геологическую – геоморфологическую. При этом в последнюю фазу в процессе денудационных движений масс на поверхности Земли развиваются разнообразные и причудливые скульптурные и аккумулятивные формы. В своем единстве эти формы характеризуют геоморфологические ландшафты и ландшафтные зоны, которые играют значительную роль в формировании внешнего вида, т.е. лица Земли. На основании представлений о рельефе как выражении процессов развития земной коры, единства ее формы (рельефа) и содержания (структуры) В.Г. Бондарчуком разработаны новые разделы геоморфологии: о рельефе литосферы, геоморфологическое районирование, возраст рельефа и др. [3, 4].

Гений В.Г. Бондарчука также позволил ему еще в середине XX века выделить такие научные направления в геоморфологии, как "климатическая геоморфология", "техногенная геоморфология" и др. К настоящему времени эти направления сформировались в крупные самостоятельные разделы науки "Геоморфологии".

В монографии В.Г. Бондарчука *"Геоморфология УССР"* [4] детально рассмотрены вопросы региональной геоморфологии. В основу геоморфологического районирования территории Украины был положен морфологический принцип, что отображает формы рельефа и ландшафта в их эволюционно-историческом развитии, в частности: 1) связь рельефа со структурой; 2) генетические типы форм поверхности; 3) возраст.

Основываясь на особенностях геологической структуры и приведенных выше положениях, В.Г. Бондарчук на территории Украины выделяет ряд крупных геоморфологических областей: Приднепровскую низменность, Правобережное поднятие, Причерноморскую впадину, Донецкий кряж, Крым, Карпатскую горную страну, куда входит Закарпатская низменность. С учетом структурно-геоморфологических и ландшафтных особенностей в составе каждой области выделяются отдельные геоморфологические районы.

Анализ морфогенетических особенностей региона, позволил В.Г. Бондарчуку утверждать, что рельеф Украины в целом оформился к началу четвертичного периода, когда поверхность этой территории представляла собою плато, глубоко расчлененное долинами консеквентных рек. Повышения базиса эрозии в днепровский ледниковый период обусловило выполнение долин осадками, в результате чего на первичной поверхности территории Украины образовалась наложенная лессовая равнина, которая охватывала значительную часть приледниковой зоны.

Как апологет (сторонник) полигенетического генезиса лессового покрова, В.Г. Бондарчук обосновал и развил гипотезу о водно-генетическом происхождении лесса как заплывной фации аллювиальных отложений в современных долинах стока ледниковых вод. Он считал, что источником материнского материала для образования лесса были водно-ледниковые и ледниковые отложения, которые включали продукты разрушения разных пород, как принесенных издалика, так и местных, по которым передвигался ледник. Ученый указывал на то, что в Украине широко распространен ледниковый тип лесса, так называемый "холодный лесс". Его гипотеза способствовала критическому пересмотру многих положений лессовой проблемы и отказу от существующих взглядов на исключительно золовый генезис этого типа отложений.

Широко известны исследования В.Г. Бондарчука в области ледниковой геологии и геоморфологии. Его исследования по данной проблеме развивались по двум главным направлениям. Одно из них охватывало изучение краевых или маргинальных форм ледниковых образований и гляциодислокаций на территориях Украины и юга Беларуси. Главное внимание при этом он уделил Каневским гляциодислокациям, в расшифровке структуры которых он впервые обратил внимание на их купольное строение и на связь этих дислокаций с геологической структурой их основания. Впервые также он предложил ледниково-тектоническую концепцию Каневских гор. Эта концепция развивает представления о купольной структуре этих дислокаций. Каневские поднятия, по мнению В.Г. Бондарчука, характеризуются тремя уровнями, которые состоят из пород докембрийского кристаллического фундамента, структуры осадочного (юрско-мелового) осадочного покрова и дислоцированных ледником (юрских, меловых и четвертичных) пород, которые образовались выше базиса эрозии. Возраст выявленных купольных поднятий – дочетвертичный.

Второе направление связано с изучением условий залегания, распространения и литологического состава ледниковых и водно-ледниковых отложений, на основании которого В.Г. Бондарчуком выделяется ряд стратиграфических горизонтов: припятский и полесский, которые в корреляционной стратиграфической схеме залегают выше днепровского. Эти разработки ученого использованы им для решения проблем формационного анализа четвертичных отложений, палеогеографических реконструкций антропогена, составлении разрезов и стратиграфических схем [3-5].

Приведенные материалы исследований в очень коротком виде иллюстрируют вклад В.Г. Бондарчука в

развитие геоморфологии, гляциологии и четвертичной геологии.

Итак, начав с четвертичной геологии, палеонтологии, стратиграфии и геоморфологии, академик В.Г. Бондарчук в конце концов приступил к глобальным тектоническим обобщениям. Одним из первых в СССР и в мире он обосновал новое теоретическое направление в геологической науке – "тектоорогению" или учение о тектоносфере Земли [2, 5].

Слово "тектоорогения" состоит из двух слов: тектоника (структура, строение) и оро (гора, форма рельефа Земли). Объединяя их вместе В.Г. Бондарчук, несомненно, имел в виду необходимость подчеркнуть новым в геологии термином единство между разнообразными глубинными геологическими структурами (слоями, телами) и их внешними формами (горами, равнинами). Новый термин "тектоорогения" как бы показывает, что между этими двумя физическими показателями геологических образований нашей планеты существует тесная генетическая связь. Вместе с тем между ними постоянно ведется сложная эволюционная борьба. При этом ее конечный результат такой: чтобы геологическое тело (образование, структура) было стабильным (стойким относительно изменений в окружающей среде), его внешняя форма должна строго отвечать его внутреннему содержанию (строению).

Исходя из гипотезы академика О.Ю. Шмидта (*о первичном составе планеты, которая образовалась из пылевидного облака*) и положений Ф. Энгельса, изложенных в его работе "Диалектика природы" (*о борьбе двух сил – притяжения и отталкивания*), В.Г. Бондарчук показал, что основные геологические двигательные силы материальной системы Земли разделяются на две группы: внутренние и внешние. Среди внешних, главные – это гравитационные, магнитные, электромагнитные, тепловые и другие влияния на Землю Солнца, планет и Луны, среди внутренних – все земные физико-химические и механические процессы. Между внешними и внутренними силами происходит постоянное взаимодействие и борьба. Эти силы и определяют облик Земли. Они определяют также вещественный состав, структуру внутренних оболочек литосферы и внешний вид Земли как в целом, так и отдельных ее частей [2].

Следовательно, общая модель геодинамики Земли по В.Г. Бондарчуку должна быть представлена в виде взаимодействия двух противоположно действующих сил: с одной стороны – сила вращательного движения Земли вокруг своей оси, которая стремится растянуть (рассеять) вещество Земли, а с другой – силы гравитации, которые удерживают ее вещественные массы от растяжения и рассеяния. Эта борьба между ними особенно усиливается во время увеличения гравитационного влияния на Землю космических тел (Солнца, Луны и др.), а также "случайных" ускорений или замедлений ее вращательного движения вокруг своей оси [2, 5].

О влиянии вращательных движений Земли на внутренние физико-химические процессы было известно и раньше. Однако роль вращательного движения и его место в общей схеме планетарной геодинамики Земли оставались до работ В.Г. Бондарчука не определенными. Ученый подчеркнул, что нельзя недооценивать или переоценивать роль вращательных движений Земли в геотектонических процессах. Им обосновывается также мнение о том, что нельзя создать адекватную геотектоническую гипотезу или общую геологическую теорию Земли на основе лишь каких либо отдельно взятых геологических процессов.

Важной составляющей своей теории "Тектоорогении" В.Г. Бондарчук считал разработанную им схему метаморфогенного образования материков Земли или континентальной земной коры [2]. До работ ученого считалось, что материи образовались в результате диффе-

ренциации первичных магматических масс горных пород ультрабазитового состава – дунитов, перидотитов, оливинитов, габбро и других. Под действием гравитации, ликвации, дифференциации, охлаждения и других процессов эти массы ультрабазитов постепенно делились на более легкие (граниты, гранодиориты) и более гравитационно тяжелые (эклогиты, дуниты, оливиниты и др.) фракции. Более легкий, гранитный материал образовывал на планете сгустки, островки, которые плавали еще на горячей планете. Как более легкие они занимали на поверхности Земли более высокие гипсометрические уровни, образывая ее первичный рельеф.

Впервые в мировой геологической литературе В.Г. Бондарчук представил научное обоснование и дал объяснения причин того, почему на площадях современных океанов земная кора состоит преимущественно из горных пород основного состава типа базальтов и называется океанической, а на площадях континентов в ее структуру входят породы главным образом гранитоидного состава и называется она континентальной земной корой. Первая имеет название *сума*, которая образована от двух первых слов химических элементов *силиций* и *магний*, что составляют основу ее минералогии, вторая – *сиаль*, которая происходит от первых двух букв слов *силиций* и *алюминий*, которые преобладают в составе континентальной коры.

Из приведенного ясно, что океанический тип коры – это остатки первичного вещества Земли, которые не прошли стадии их дифференциации на более основные и более кислые разновидности. Следовательно, на площадях существующих сейчас материков находятся участки, которые испытали процессы гравитационно-ликвационного и осадочно-метаморфогенного их разделения. Такой является общая схема образования континентальной, или *"сиалической"*, или гранитоидной земной коры, которая, по представлениям ученого-тектониста имеет вторичную природу.

Третий основополагающий вывод теории тектоорогении В.Г. Бондарчука сводится к тому, что начиная с позднего архея, т.е. со времени охлаждения первоначального магматического океана до условий появления на поверхности Земли твердой и хрупкой земной коры, т.е. начальной литосферы, на ней существенно изменились как формы тектонических движений, так и типы деформаций и внешние виды геологических структур. До середины XX столетия в геотектонике преобладали представления о том, что основной тектонической формой строения земной коры являлись ее складчато-волновые движения и деформации в виде беспрерывных рядов. Разрывным деформациям земной коры придавалась второстепенная роль. Разломы представлялись в виде мелких трещин. О широком развитии в литосфере Земли крупных глубинных разломов-трещин, да еще планетарных размеров, тогда вообще не было разговоров.

Считалось, что главными силами в формировании структуры Земли являются "волновые", т.е. *эпейрогенические* движения [2]. Земная кора при этом совершает преимущественно вертикальные движения (опускается и поднимается). Такие движения происходят в двух основных формах: очень свободных и широких площадных опусканий и поднятий, которые называются *эпейрогеническими* тектоническими движениями (образующими равнины и суходолы), и очень быстрых и узкоформных опусканий и поднятий земной коры, которые называются *орогеническими* тектоническими движениями (такими, что формируют горные сооружения). Против такого "неполноценного" понимания механизма тектонических движений земной коры В.Г. Бондарчук выступил еще в 1944 г. в статье *"Геоморфология геосинклиналей"* [1]. Ученый тогда, фактически впервые в СССР, ясно и четко поставил вопрос о соотношении складчато-пластичных и разрывных механических де-

формаций земной коры в различные этапы формирования литосферы Земли.

В.Г. Бондарчук считал, что глубинные разломы имеют планетарный характер и их можно подразделять на разломы: 1 – разделяющие щиты и впадины; 2 – разделяющие платформы и подвижные зоны; 3 – разделяющие материковую и океаническую кору. В самостоятельную группу им выделены планетарные разломы, скрытые под водами океанов, и рифты, сопровождающие подводные срединные хребты. Динамическую систему разломов диагональной системы (северо-западного и северо-восточного направления) он объяснял вращением Земли вокруг своей оси и, возникающими при этом полярным сжатием и экваториальным растяжением.

В монографии 1946 г. *"Геологическая структура Украины"* В.Г. Бондарчук доходчиво показал на примере геологического строения территории Украины, что в современной ее основе лежит разломно-блоковая, а не складчато-волновая структура кристаллического слоя литосферы. Особо отчетливо он показал это на примере ДДВ, которую считал областью, ограниченной глубокими расколами и провалами земной коры. С глубинными разломами ДДВ связаны резкие опускания ее краевых частей, особенности структуры как опущенного древнего кристаллического фундамента, так и осадочного чехла, а также проявления разнообразных по составу и возрасту магматических пород.

Идея **разломно-блокового** строения земной коры В.Г. Бондарчука была подтверждена в последующие годы. В частности, была установлена не только разломно-блоково-складчатая структура Украинского щита и ДДВ, но и планетарная сетка глубинных разломов литосферы [5].

Важно подчеркнуть, что основные положения своей теории о едином процессе развития структуры и рельефа Земли В.Г. Бондарчук обосновывал в течение длительного периода времени. Вместе с тем он считал, что его теория *"тектоорогении"* [2, 5] не является завершенной геологической теорией Земли. Она, скорее всего, является лишь общим философским обобщением, гносеологическим рецептом для тех, кто работает над созданием настоящей геологической, точнее геодинамической концепции планеты Земля. Первая статья, *"Теория тектоорогении"*, была опубликована В.Г. Бондарчуком в Московском журнале Природа в 1944 г. Затем появились монографии *"Тектоорогения"* (1946), *"Основы тектоорогении"* (1961), *"Структура земной коры"* (1962), *"Движение и структура тектоносферы"* (1970), *"Очерки по региональной тектоорогении"* (1972).

Значительное место в творческом наследии ученого занимают работы по геологии месторождений полезных ископаемых, общей и региональной геологии – *"Внутреннее строение Земли"* (1957), *"Земная кора, ее структура и развитие"* (1959), *"Геология Украины"* (1959), *"Строение четвертичных отложений и проблемы геологии четвертичного периода Украины"* (1961), *"Геология месторождений полезных ископаемых"* (1966), *"Образование и законы развития земной коры"* (1975), *"Строение дна океана"* (1975).

Владимир Гаврилович активно популяризировал передовые достижения геологической науки среди широких масс людей. Он часто выступал с докладами, написал 20 научно-популярных книг. Среди них: *"История геологического развития Земли"* (1941), *"Краевиды Советской Украины"* (1946), *"Минеральные богатства УССР"* (1948), *"Геологические памятники Украины"* (1961), *"Недра земли родной"* (1961), *"Дворцы под землей"* (1963), *"Геология для всех"* (1970), *"Образование материков"* (1972) и др.

В историю геологической науки В.Г. Бондарчук вошел как новатор, основоположник нового научного направления в геотектонике, ученый с энциклопедическими знаниями, прекрасный педагог и учитель.

Его идеи продолжают жить и в настоящее время. Тектоорогения – разломно-блоковая тектоника – тектоно-магматические активизации – седименто- и литогенез формируют основу внутренних и внешних оболочек (базальтовый, диоритовый, гранитный слой) Земли и месторождения полезных ископаемых. Высказанные В.Г. Бондарчуком идеи позволяют лучше понять процессы латеральной и вертикальной миграции вещества и энергии, текущей из центра планеты к верхним оболочкам Земли и образование верхних оболочек тектоносферы, как результат происходящих из глубин процессов миграции вещества и энергии. Они проливают также свет на процессы направленности и эволюции органического мира в геологической истории (от докембрия до антропогена), в том числе и появление Человека на планете Земля.

27 февраля 1993 г. на 88-м году жизни академик В.Г. Бондарчук скончался. Закончился земной путь одного из крупнейших тектонистов нашей планеты. Необходимо признать, что он внес неоценимый вклад в развитие фундаментальных направлений мировой геологической науки. Его энциклопедические знания и достижения в области естествознания столь велики, что определили современный прогресс геотектоники. Безграничная любовь к геологии, энтузиазм и неутомимое творческое дерзание Владимира Гавриловича постоянно вели его к открытию и синтезу закономерностей геотектоники, геоморфологии, стратиграфии, истории развития и эволюции планеты Земля. Состояние тектонической науки, оставшейся после его ухода, значительно отличается от того, в котором он ее застал.

В.Г. Бондарчук был не только Великим ученым, ректором, директором, но и Человеком с большой буквы. Ему были свойственны интеллигентность, демократичность, необыкновенная скромность и огромное личное обаяние. Свою энергию, прирожденный талант и способности он отдал науке и людям. Ученый не только опубликовал оригинальные научные монографии (28) и научные статьи (около 300), но и создал свою, **"Бондарчуковскую"** школу. Многие из современных корифеев геологической науки могут с гордостью называться его учениками. Достаточно сказать, что им подготовлено 50 докторов и кандидатов наук. Среди учеников В.Г. Бондарчука – известные ученые, академики АН Украины И.И. Чебаненко и П.Ф. Гожик, члены-корреспонденты В.Б. Соллогуб и А.М. Маринич, профессора и

доктора наук А.В. Друмя, П.К. Заморий, И.Л. Соколовский, М.Ф. Веклич, М.Г. Волков, В.И. Галицкий, В.П. Пащенко, И.М. Рослый, А.К. Кошик, С.Ю. Бортник, О.И. Слензак, В.А. Рябенко, А.Я. Радзивилл, В.Н. Шелкопляс, Ю.Г. Чугунный, Ю.М. Довгаль, В.С. Токовенко, В.Я. Радзивил, А.В. Матошко, Я.В. Федорин, Н.В. Дыкань и др.

Настоящим Учителем Владимир Гаврилович был и для меня. Его авторитет, энциклопедические знания и эрудиция оказали огромное влияние на формирование моего научного мировоззрения. Будучи заведующим отделом геотектоники ИГН АН УССР, в котором я был в аспирантуре и затем работал, он не указывал мне как и что делать. Его помощь происходила в тактичных советах и в научно-организационных моментах. Смею утверждать: то, что сделал Бондарчук для меня, было не ради корысти, он сделал это ради ее Величества Науки.

Жизнь и творчество академика Владимира Гавриловича Бондарчука пропитано любовью к отечеству, геотектонике, геоморфологии и геологии в целом и, несомненно, являются образцом как для учеников, так и будущих поколений. Для нескольких поколений геологов-тектонистов, геологов-съемщиков, геоморфологов, стратиграфов, палеонтологов, "четвертичников" Украины и зарубежных стран он был путеводной звездой и вдохновенным учителем.

Список використаних джерел

1. Бондарчук В. Г. Геоморфология геосинклиналей / В. Г. Бондарчук. // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1944. – №1. – С. 107–113.
2. Бондарчук В. Г. Тектоорогения / В. Г. Бондарчук. – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1946. – 263 с.
3. Бондарчук В. Г. Основы геоморфологии / В. Г. Бондарчук. – М.: Учпедгиз, 1948. – 319 с.
4. Бондарчук В. Г. Геоморфология УРСР: Геологичний розвиток рельєфу УРСР / В. Г. Бондарчук. – К.: Рад. шк., 1949. – 243 с.
5. Бондарчук В. Г. Основные вопросы тектоорогении / В. Г. Бондарчук. К.: Изд-во АН УССР, 1961. – 381 с.
6. Володимир Гаврилович Бондарчук: вчений, педагог, громадський діяч, людина – К.: Вид-во ІГН НАН України, 2005. – 194 с.

References

1. Bondarchuk, V.H. (1944). Geomorfologiya geosynklinalei. *Izvestiya AN SSSR: Seriya geologiya*, 1, 107–113. [in Russian].
2. Bondarchuk, V.H. (1946). *Tektoorogeniya*. Kyiv: Izdatelstvo Kyevskoho universytetu. [in Russian].
3. Bondarchuk, V.H. (1948). *Osnovy geomorfologii*. Moscow: Uchpedgiz. [in Russian].
4. Bondarchuk, V.H. (1949). *Geomorfologiya URSR: Geologichnyi rozvytok reliefu URSR*. Kyiv: Radianska shkola. [in Ukrainian].
5. Bondarchuk, V.H. (1961). *Osnovnye voprosy tektoorogenii*. Kiev: Izdatelstvo AN USSR. [in Russian].
6. Volodymyr Havrylovych Bondarchuk: vchenyi, pedahoh, hromadskyi diiach, liudyna. (2005). Kyiv: Vydavnytstvo IGN NAN Ukrainy. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 17.08.15

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

AN OUTSTANDING TEACHER, SCIENTISTS IN GEOMORPHOLOGY AND TECTONICS: TO 110TH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN V.G. BONDARCHUK

To the 110th anniversary of Academician Volodymyr Bondarchuk. The article deals with the genius Ukrainian scientist-geologist, founder of a new scientific field, talented theoreticians and practitioners Academician Vladimir Gavrilovich Bondarchuk. The main stages of this life and researches are considered.

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

ВИДАТНИЙ ПЕДАГОГ, ВЧЕНИЙ-ГЕОМОРФОЛОГ ТА ТЕКТОНІСТ: ДО 110-РІЧЧЯ АКАДЕМІКА В.Г. БОНДАРЧУКА

Стаття присвячена геніальному українському вченому-геологу, основоположнику нового наукового напрямку, талановитому теоретику і практику академіку Володимирові Гавриловичу Бондарчуку у зв'язку з його 110-річчям від дня народження. Розглянуто основні етапи життя вченого, його досягнення в області тектоніки, геоморфології, четвертичної геології і рудних родовищ. Особливо відзначена його роль у створенні геоморфологічної і тектонічної наукових шкіл і нового наукового напрямку – тектоорогєнії.

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.7+556.3:553.98 (477.9)

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

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

І. Колодій, канд. геол. наук
Інститут геології та геохімії горючих копалин НАН України
вул. Наукова, 3-а, м. Львів, Україна
E-mail: ivannakolodiy@gmail.com

Л. Мінтузова, канд. геол. наук
Львівське відділення УкрДГРІ, м. Львів, Україна
E-mail: luda_mint@mail.ru

НОВІ ДАНІ ПРО СТРАТИГРАФІЮ ВІДКЛАДІВ ТА ГІДРОГЕОХІМІЧНІ УМОВИ ПРАДНІПРОВСЬКОЇ ПЛОЩІ (ПІВНІЧНО-ЗАХІДНИЙ ШЕЛЬФ ЧОРНОГО МОРЯ)

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

Представлено результати довивчення та ретроспективного аналізу матеріалів буріння параметричної свердловини Прадніпровська-2. Проведені дослідження стратиграфії, мікрофаціальне та мікропалеонтологічне вивчення керну свердловини. Також проаналізовані гідрогеохімічні та газогідрогеохімічні (за складом водорозчинених газів і тиском насичення) показники нафтогазоносності.

У досліджуваному розрізі у відкладах, які вважаються титонськими, встановлено порушення послідовності розрізу і виявлено наявність порід, що містять численні планктонні форамініфери нижньо-верхньокрейдового (альб-сеноманського) віку. Довивчення розрізу та аналіз стратиграфічного поширення визначеної фауни показали, що у нижній частині розкрито не відклади титону, а зону тектонічних порушень, у якій приймають участь відклади верхньої юри (титону, кімериджу-титону), верхньої юри-нижньої крейди (титону-беріасу) і крейди (альб-сеноману).

Гідрогеохімічні показники і високі значення коефіцієнта гідростатичності свідчать про значну гідрогеологічну закритість надр на Прадніпровській площі. Високоінформативними є водорозчинені гази вуглеводневого складу. Висока відносна газонасиченість пластових вод з майкопських відкладів може свідчити про те, що свердловина потрапила за контур газонасиченого пласта. Припливи води, одержані під час випробування нижньокрейдових відкладів, та вуглеводневий склад розчиненого газу можуть свідчити про перспективність нижньокрейдових відкладів. Проте, для отримання надійних числових значень окремих показників під час випробування водонасичених об'єктів необхідно отримати якісні проби пластової води.

Отримані результати досліджень стратиграфії та гідрогеології відкладів, розкритих на Прадніпровській площі, вказують на доцільність продовження геолого-пошукових робіт на схилі Східноєвропейської платформи, де, крім Прадніпровського, визначена група перспективних підняття за гідрогеологічними особливостями: Тендрівське, Дністровське, Скадовське, та можуть сприяти при плануванні та проведенні цих робіт.

Ключові слова: верхня юра, крейда, майкоп, тектонічні порушення, гідрогеохімічні показники, водорозчинені гази, Причорноморський нафтогазоносний басейн.

Вступ. Прадніпровська площа розташована в північно-західній частині Чорного моря в межах Причорноморського водонапірного нафтогазоносного басейну. У тектонічному плані це зона насуву північно-західної центрикліналі Каркінітсько-Північнокримського крейдовопалеогенового прогину на східну перикліналь Переддобрудзького палеозойсько-юрського прогину (Крилівська депресія). На цій площі прогнозувався поклад вуглеводнів. Для оцінки перспектив нафтогазоносності майкопських і неогенових (баденських) відкладів тут була пробурена пошукова випереджувача свердловина № 1 глибиною 750 м, з метою вивчення геологічної будови та перспектив нафтогазоносності даного району – параметрична свердловина № 2 глибиною 2375 м. Буріння проводилось Чорноморським УРБ ВО "Чорноморнафтогаз". Дослідження матеріалів буріння виконувалось співробітниками ДГП "Кримгеологія", ДАТ "Чорноморнафтогаз", ВО "Чорноморнафтогаз", Української нафтогазової академії, ЦМГГД "Одесморгеологія", УкрДГРІ.

За матеріалами сейсмозондування у зоні параметричного буріння прогнозувалась низка невеликих антиклінальних підняття у відкладах юри та нижньої крейди, на яких виділялись "аномалії типу покладів". Буріння проведено у складній за тектонікою та сейсмогеологічними умовами зоні. Свердловина № 2 пробурена на ділянці, прилеглої до Одеського субмеридіонального та Тендрівського субширотного розломів (рис. 1), у присклепінній частині антиклінального підняття, що простежено за сейсмічними горизонтами, приуроченими до верхньої

юри і підшви нижньої крейди [3]. На глибині 2211 м свердловиною були розкриті відклади, що були віднесені спочатку помилково до палеозойського фундаменту, потім до верхньої юри. У зв'язку з цим буріння свердловини припинили, не досягнувши проектною глибини 3200 м. Прогнози аномалії типу покладів, що ґрунтувались на матеріалах електророзвідки і геохімічної зйомки, не підтвердились.

За даними стратиграфічного вивчення розрізу, розкритого параметричною свердловиною Прадніпровська-2 вперше на Чорному морі розкрито відклади верхньої юри (в інтервалі 2211–2375 м, вибій). Вони представлені вапняками з прошарками мергелів і тонкими проверстками аргілітів. Відклади датовано титоном за форамініферами і молюсками [4, 6]. Вище виділено інтервал нижньої крейди (2121–2211 м): датовані за форамініферами пісковики неокому (інт. 2150–2211 м) і альбські пісковики з прошарками алевролітів і аргілітів (інт. 2121–2150 м). Відклади верхньої крейди і кайнозою, які залягають вище, датовані у більшості за віком фауни. Проте, сanton, кампан, верхній еоцен і олігоцен виділено умовно без літологічного та палеонтологічного обґрунтування, лише на зіставленні з розрізами раніше пробурених сусідніх свердловин за матеріалами ГДС. Верхньокрейдовий інтервал (1693–2121 м) розчленовано на відклади сеноману (інт. 2085–2121 м) – вапняки з прошарками мергелів; сantonу (інт. 1978–2085 м) – вапняки з прошарками мергелів та глинистих вапняків підшви; кампану (інт. 1827–1978 м) – перешарування

вапняків, мергелів і глинистих вапняків; маастрихту (інт. 1693–1827 м) – вапняки органогенно–пелітоморфні з прошарками мергелів. У палеоцені (інт. 1468–1693 м) виділено породи монту (інт. 1605–1693 м) та інкерману (інт. 1591–1605 м), складені органогенно–детритовими вапняками з мергелями у підшві монту танетські вапняки та мергелі з прошарками аргілітів і алевролітів (інт. 1468–1591 м). Еоценовий розріз (інт. 777–1468 м) розчленовано на нижній еоцен (інт. 1332–1468 м) – вапнисті аргіліти з поодинокими уламками макрофауни, у верхній частині з проверстками мергелів; середній еоцен (інт. 1180–1332 м) – слюдисті алевроліти; верхній еоцен (інт. 777–1180 м) – перешарування глин і мергелів у верхній частині (158 м). Відклади майкопської серії олігоцену–міоцену (інт. 463–777 м) – глини, у верхній частині з прошарками алевролітів і пісковиків. У неогені виділено породи бадену (інт. 413–463 м) – алевроліти з пропластками глин та вище (12 м) – органогенно–детритові вапняки; нижнього сармату (інт. 347–413 м) – глини; середнього сармату (інт. 227–347 м) – органогенно–детритові, органогенні та глинисті вапняки з прошарками пісків і глин; верхнього сармату (інт. 172–227 м) – глини і піски з детритом макрофауни, з прошарками органогенно–детритових вапняків; меотису (інт. 140–172 м) і понту (інт. 110–140 м) – піски з детритом макрофауни, з прошарками глин та піски кіммерію–куяльнику (інт. 106,5–110 м). Завершується розріз мулом, суглинками та пісками антропогену (інт. 56,5–106,5 м) [4–5, 8] (рис. 2).



Рис. 1. Схема розташування свердловин на Чорноморському шельфі

Отримані нами нові дані показали, що послідовність розрізу, розкритого свердловиною Прудніпровська-2, порушена внаслідок тектонічних процесів. Аналіз гідрогеологічних ознак нафтогазоносності дозволив визначити, що нижньокрейдові та майкопські відклади Прудніпровської площі є перспективними на вуглеводні.

Постановка проблеми. В результаті комплексного вивчення матеріалів буріння на Прудніпровській, Безіменній та Одеській площі було підтверджено прогнози сейсмозвідників щодо широкого розповсюдження юрських відкладів у межах північно-західного шельфу Чорного моря. До цього були розкриті утворення середньої юри на Каламітському піднятті (Іллічівська площа) і в межах Крайового уступу (Десантна). Це дозволило прогнозувати широкий розвиток перспективних на вуглеводні юрських відкладів у межах акваторії Чорного моря на схід від Одеського глибинного розлому, який раніше вважався східною межею поширення порід юри. У розкритих буріннях розрізах було виділено титонський і байоський яруси [8]. При довивченні нами матеріалів буріння параметричної свердловини Прудніпровська-2 виявлено, що в інтервалі глибин титонського розрізу містяться породи різного віку – верхньої юри (у тому числі титонські) і крейди (альб-сеноману). Виявлена недостовірність стратиграфічних та структурних побудов за матеріалами сейсмозвідки і не підтвердження прогнозу про наявність пасток на Прудніпровській площі викликають необхідність додаткового літо-

го-стратиграфічного і гідрогеологічного дослідження цих відкладів.

Матеріали та методи. Приз'ясуванні стратиграфічної будови відкладів застосовані методи біостратиграфічного і літологічного вивчення. Проведені мікрофаціальні та мікропалеонтологічні дослідження шліфів з керну параметричної свердловини Прудніпровська-2. Тектонічні порушення послідовності розкритого свердловиною розрізу виявлені в результаті аналізу віку та структурних і текстурних властивостей порід. Датування віку порід здійснено на основі діагностики таксономічного складу комплексів планктонних форамініфер та інтерпретації просторово-часового розподілу планктонних і бентосних форамініфер, визначених у відкладах верхньої юри і крейди. Також проаналізовані гідрогеохімічні та газогідрогеохімічні (за складом водорозчинних газів і тиском насичення) показники нафтогазоносності. При дослідженні підземних вод і газів застосовувалися методи хімічного аналізу і газової хроматографії в лабораторії ДАТ "Чорноморнафтогаз". Опрацьована інформація по стратиграфії та гідрогеології, отримана при дослідженні матеріалів буріння на Прудніпровській площі іншими спеціалістами.

Результати досліджень стратиграфії. За результатами попередніх дослідників [3–4, 6, 8], відклади титону, які виділено в інтервалі 2211–2375 м (вибій), представлені сірими вапняками з прошарками мергелів і тонкими проверстками аргілітів. Вапняки біокластичні, детритові, глинисті, різнозернисті, мікротові, приховано-кристалічні, неоднорідні, частково перекристалізовані, містять дрібноалевритовий кластичний матеріал, зерна глауконіту. Ділянками вапняки просочені бітумоїдом.

Відклади датовано титоном на підставі віку бентосних форамініфер і молюсків. Форамініфери діагностовано В.Г. Дулуб, молюски – Р.Й. Лещухом [3, 6–7]. Аналіз стратиграфічного поширення цих фауністичних решток дозволяє уточнити вік порід, що їх містять. Породи в інт. 2370–2375 м датуються пізнім титоном–раннім беріасом за віком асоціації форамініфер (*Rectocyclammina chouberti* Hoff., *Pseudospirocyclina* (?) sp., *Bramkampella* sp. ind.). В інтервалі 2331–2335 м форамініфери, які діагностовано до виду – *Anchispirocyclina* cf. *lusitanica* (Egger), мають поширення від титону до верхнього беріасу. Титонський вік мають породи на глибинах 2265–2272 м, де виявлено верхньоярські *Epistomina* cf. *stellata* Biel. et Poz. і титонські *Belorussiella wolinsensis* Biel. Вище, в інтервалі 2233–2242 м, відклади датуються кімеридж-титоном – породи містять комплекс двостулкових молюсків кімериджу-титону – *Pseudolimea alternicosta* (Buvign.), *Aulacomia problematica* (Furl.), *Radulopecten* (*Radulopecten*) *indeguicostatus* (Phill.), *Plagiostoma cubanense* (Pöel.), *Chlamys* (*Aegipecten*) *laurae* (Etall.) і водорості *Clypeina jurassica* Favre (верхня юра–нижня крейда). Породи з верхнього інтервалу 2211–2213 м належать до відкладів нижньої крейди (беріасу): у комплексі форамініфер присутні види титону – *Textula riadensis* Goff., кімериджу-беріасу – *Quinqueloculina podlubiensis* Terest., *Trocholina* cf. *elongata* (Leupold), беріасу – *Textularia notha* Gorb., *Placopsilina neocomica* Bart. et Br., беріасу-валанжину–*Charentia* (?) *evoluta* Gorb., крейди *Spirocyclina choffati* Mun.-Chalm., а також поширені у кімериджі-беріасі представники роду *Anchispirocyclina* і нижньокрейдові *Dyctioconus* sp.

Наші дослідження шліфів з цих глибин показали, що в інтервалі 2265–2272 м породи містять планктонну асоціацію з численних представників *Hedbergella*, поодинокі *Heterohelix* та інших, не визначених до роду. Такі форамініфери не притаманні відкладам верхньої юри, відомі починаючи з нижньої крейди (барем), а найбільш поширені в альбі-сеномані. За даними С.В. Туркевича [4, 6, 8 та ін.], керновий матеріал у цьому інтервалі представлений у нижній частині (1,6 м від верху) і у

верхній (0,5 м від верху) – темно-сірим тріщинуватим вапняком з поодинокими прошарками (під кутом 25–35°) чорного вапнистого аргіліту з дзеркалами ковзання (вапняк біокластичний, різноуламковий, ділянками просякнені бітумінозною речовиною, з субвертикальними тріщинами до 2–3 мм, виповненими грубозернистим кальцитом і перетертим вапнистим матеріалом), у середній частині – вапняком біомікротивним алевритистим з глауконітом, з сильним бітумінозним запахом. Саме у середній частині інтервалу вапняки містять бентосні форамініфери титону і молюски кімериджу-титону.

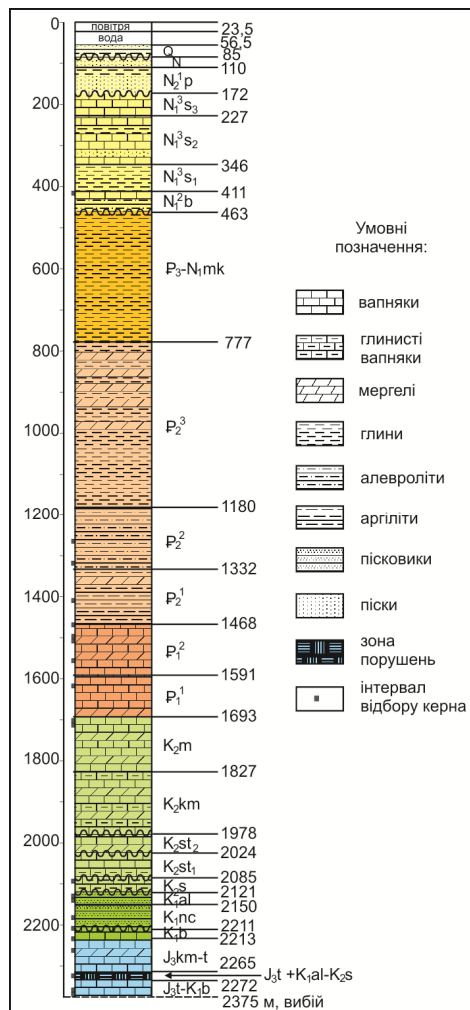


Рис. 2. Розріз свердловини Прадніпровська-2 (за Б.М. Полухтовичем [5], доповнено)

Аналіз літолого-петрографічної характеристики цих відкладів, здійснений Є.В. Туркевичем, показує, що текстурні особливості порід формувались під впливом тектонічних процесів. Глинисті різновиди порід дуже неоднорідні з чітко вираженою перем'ятістю. У вапняках і мергелях відмічається інтенсивна тріщинуватість. Тріщини різноспрямовані, переважно субвертикальні, тонкі (1–3, зрідка до 5 мм), слабо звивисті й уривчасті, виповнені білим мікрокристалічним або грубозернистим кальцитом. Інколи спостерігаються короткі сутури, виповнені глинисто-бітумінозною або глинисто-карбонатною речовиною, по якій розвинуті слабо виражені дзеркала ковзання. Аргіліти містять чітко виражені дзеркала ковзання. У нижній частині розрізу, датованого титоном, породам притаманна інтенсивна тріщинуватість і бітумінозність. Так, у керні з інтервалу 2370–2375 м вапняки та мергелі тріщинуваті, містять прошарки чорних аргілітів з дзеркалами ковзання (контакт чіткий під кутом 35°); в інтервалі 2331–2335 м темно-сірі до чорних мергелі інтенсивно тріщинуваті (тріщини суб-

вертикальні і під кутом 70–75° сутуроподібні з висотою зубів 2–3 мм, виповнені чорною глинисто-карбонатною речовиною з дзеркалами ковзання); в інт. 2233–2242 м вапняки також інтенсивно тріщинуваті.

Отже, за палеонтологічними і літолого-петрографічними даними, свердловина Прадніпровська-2 розкрила на глибинах 2233–2375 м (вибій) тектонічно порушений розріз, у якому породи сильно тріщинуваті, зім'яті, з дзеркалами ковзання і представлені різновіковими утвореннями: у нижній частині (інт. 2370–2375 м і 2331–2335 м) породи мають титон-беріаський вік, вище (2265–2272 м) присутні породи титону і крейди (імовірно, альб-сеноману), у верхній частині (2233–2242 м) породи мають кімеридж-титонський вік. Вище, в інтервалі 2211–2213 м відклади датуються беріасом. Таким чином, послідовність розрізу, розкритого параметричною свердловиною, порушена, у його нижній частині присутні породи верхньої юри, верхньої юри-беріасу, а також утворення крейди (альб-сеноман).

Результати випробування об'єктів на Прадніпровській площі (аналіз ретроспективних даних). У процесі буріння свердловини Прадніпровська-2 за допомогою випробувача пластів на трубах випробувано чотири об'єкти: два – у верхньопалеоценових, один в нижньопалеоценових і один в сеноман-альбських відкладах. Після закінчення буріння в свердловині додатково випробували інтервал 2110–2125 м в нижньокрейдових відкладах (альб-сеноман). У результаті випробування з I об'єкту (інтервал випробування 1468–1510 м, верхній палеоцен) отримали незначний приплив газу дебітом 0,025 тис. м³/добу, при депресії на пласт 8,7 МПа. Пластовий тиск на глибині 1489 м досягав 16,4 МПа. $K_2 (P_{пл}/P_{ге}) = 1,1$; ($P_{пл}$ – пластовий тиск, $P_{ге}$ – умовно гідростатичний тиск). При випробуванні II об'єкту (інтервал випробування 1468–1558 м, верхній палеоцен) отримали фільтрат бурового розчину дебітом 12,6 м³/добу, при депресії на пласт 11,5 МПа. З III об'єкту (інт. 1601–1628 м, нижній палеоцен) отриманий приплив пластової води дебітом 7,9 м³/добу, при депресії на пласт 5,81 МПа. Пластовий тиск на глибині 1614,5 м – 17,75 МПа, $K_2=1,1$. У результаті випробування IV об'єкту в інт. 2117–2150 м (сеноман-нижня крейда) при початковій депресії на пласт 7,0 МПа отриманий приплив пластової води дебітом 7,9 м³/добу з розчином газом метанового складу: CH_4 –90,68%, C_2H_6 –4,73%, CO_2 –0,29%, N_2 –4,3%, C_1/C_2 –19,1. Пластовий тиск на глибині 2133,5 м дорівнює 23,9 МПа, $K_2=1,12$. Пластова температура –78°С. Мінералізація приблизно 77 г/л. Після закінчення буріння випробуваний інтервал 2110–2125 м, в нижньокрейдових відкладах, з якого отримали приплив пластової води дебітом 216 м³/добу (густина 1052 кг/м³, мінералізація ~71 г/л). Тиск на глибині 2117,5 м становить 22,21 МПа, $K_2=1,05$. Пласти з добрими емніскофільтратійними властивостями пов'язані з пісковиками та піскуватими алевролітами нижньокрейдової базальної пачки і нижньої частини верхнього альбу, а також вулканогенно-кластичними породами середнього і верхнього альбу. Породи-колектори альбських відкладів представлені пісками і алевролітами з відкритою пористістю 3–47%. Їх проникність становить $(0,1-137) \cdot 10^{-3}$ мкм² [5].

Колекторські властивості мають органогенні, органогенно-уламкові і пелітоморфні тріщинуваті вапняки титону. В корі вивітрювання верхньоярських порід за даними ГДС виділений пласт-колектор (інт. 2210,6–2214,6 м) з невизначеним характером насичення. Випробування юрських порід не проводилось.

При випробуванні свердловини Прадніпровська-1 припливи пластових вод з розчином газом вуглеводневого складу отримано з об'єктів у баденських (інт. 414–419 м) і майкопських відкладах (інт. 552–562 м). З першого інтервалу отримали приплив пластової води дебітом 16 м³/добу з розчином газом метанового складу, хлоркальцієвого (ХК) типу з мінералізацією 62 г/л,

$M_{62} \frac{Cl99HCO_3 1}{Na82Mg11Ca7}$ газонасиченістю 238 см³/л, відносна газонасиченість $\Gamma 10^3/H = 567$, відношення $\Gamma/\Gamma_{мін} = 0,35$ (Γ – газонасиченість, $\Gamma_{мін}$ – теоретична насиченість води метаном при мінімальній для даної глибини пластовій температурі й гідростатичному тиску). Вміст визначених у воді мікроелементів і мікрокомпонентів складає: йоду – 7,5 мг/л, бром – 114,9 мг/л, амонію – 50,4 мг/л., $Cl/Br=336$. Пластовий тиск на глибині 416,5 м становить 4,2 МПа, пластова температура на глибині 400 м становить 27°C. $K_2=1,0$.

З другого інтервалу отримали приплив пластової води дебітом 3,7 м³/добу, хлормангнієвого (ХМ) типу з мінералізацією 17 г/л, $M_{17} \frac{Cl89SO_4 10HCO_3 1}{Na79Mg15Ca6}$ і розчиним газом метанового складу. Газонасиченість складає 1002 см³/л. Відношення $\Gamma/\Gamma_{мін} = 0,84$, відносна газонасиченість $\Gamma 10^3/H = 1758$.

Гідрогеохімічні та термобаричні показники нафтогазоносності. Пластові води на Прудніпровській структурі відносяться до хлоркальцієвого і хлормангнієвого типів мінералізацією 17-77 г/л. Вмісти мікроелементів пов'язані з мінералізацією вод прямою залежністю. Найбільші вони у водах хлоркальцієвого типу, за винятком бору. Хлормангнієві води збіднені мікроелементами. Відношення Cl/Br , близьке до такого у морської води (244-336). Пластові тиски у випробуваних об'єктах близькі до гідростатичних, або незначно їх перевищують. Відношення $R_{пл}/R_{уг}$ змінюється в межах 1,0 (неогенові відклади в інтервалі 414-419 м) до 1,12 (альбсеноман в інтервалі 2117-2150 м).

За геотермічними параметрами Прудніпровська структура знаходиться в структурно-тектонічній зоні, що характеризується середніми геотермічними градієнтами 25-30°C/км, температури на зрізі -2000 м – 70°C, температури на зрізі -3000 м – 110-115°C. Зниження геотермічної активності простежується і далі на захід в бік Переддобрудзького прогину, де геотермоградієнти зменшуються до 16,5-17,5°C/км, а температура на глибині 2000 м становить 54-56°C [5].

Гідрогеохімічні показники і високі значення $K_2 > 1$ свідчать про значну гідрогеологічну закритість надр на Прудніпровській площі. Газогідрогеохімічні ознаки за складом водорозчинених газів і тиском насичення є досить універсальними. Коефіцієнт насичення води газом визначають відношенням пружності водорозчиненого газу до пластового тиску $P_2/P_{пл}$, або відношенням газонасиченості до глибини залягання $\Gamma 10^3/H$. Відношення $P_2/P_{пл} > 0,75$, або $\Gamma 10^3/H \approx 1500-2000$, свідчать про наявність газового покладу, тому можуть бути віднесені до прямих ознак газонафтоносності. Усі інші ознаки є побічними. Звертає увагу висока відносна газонасиченість пластових вод з майкопських відкладів $\Gamma 10^3/H = 1758$, що може свідчити про те, що свердловина потрапила за контур газонасного пласта. Припливи води, одержані під час випробування нижньокрейдових відкладів, та вуглеводневий склад розчиненого газу можуть свідчити і про перспективність цих відкладів. Проте, для отримання надійних числових значень окремих показників під час випробування водонасичених об'єктів необхідно отримати якісні проби пластової води. Це досягається відбором перед взяттям проби певної, наперед розрахованої кількості рідини, аж до досягнення водою постійного хімічного складу. На жаль, в сучасних умовах з водонасичених об'єктів, як правило, відбирають неякісні проби, що є сумішами пластових і технічних вод або й тільки технічними водами (фільтрати бурових розчинів, технологічні розчини тощо). Намагання скоротити термін дослідження і випробування непродуктивних об'єктів з метою економії часу не є виправданим, тому що отримання надійних

гідрогеологічних даних може придатися при плануванні подальшої розвідки тієї чи іншої площі. Наразі випробування водонасичених пластів носить суто формальний характер. Така практика не сприяє підвищенню ефективності пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ в нафтогазоносних і перспективних регіонах України.

Висновки. Стратиграфічне довищення розрізу, розкритого параметричною свердловиною на площі Прудніпровська, показало, що у нижній частині розкрито не відклади титону, а зону тектонічних порушень, у якій приймають участь відклади титону-беріасу, титону, кімериджу-титону і альб-сеноману. В результаті аналізу гідрогеохімічних та термобаричних показників нафтогазоносності перспективними на вуглеводневі поклади є нижньокрейдові та майкопські утворення. Серед ознак наявності покладів для Причорноморського водонапірного басейну найбільш універсальними є газогідрогеохімічні (для всіх продуктивних комплексів від N_1 до K_1) – вуглеводневий склад газів. Значення коефіцієнта насиченості води газом $P_2/P_{пл}$ від 0,75 до 1, або $\Gamma 10^3/H = 1500-2000$, характеризує промислово газонасичені структури, від 0,3 до 0,75 – характеризує продуктивні структури, а на непродуктивних $\leq 0,3$ [2]. Наприклад, звертає на себе увагу доволі високий вміст водорозчиненого газу метанового складу з палеоценових відкладів у св. 19-Тендрівська, де $P_2/P_{пл}$ становить 0,48. Високою є відносна газонасиченість майкопського комплексу на Фланговій (1097-1287 м) та Прудніпровській (567-1758 м) площах [1].

Зважаючи на наведені дані, доцільно продовжити геолого-пошукові роботи на схилі Східноєвропейської платформи, де, крім Прудніпровської, визначена група перспективних піднятих за гідрогеологічними особливостями: Тендрівське, Дністровське, Скадовське. Сприятим цим роботам може застосування отриманих нами нових даних по стратиграфії та нафтогазоносності відкладів, розкритих на Прудніпровській площі.

Список використаних джерел

1. Колодій І. В. Прогнозування локалізації вуглеводневих скопчень Причорноморського водонапірного басейну за гідрогеохімічними показниками / І. В. Колодій // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. – 2014. – №1128. – С. 32-36.
2. Колодій І. В. Нафтогазоперспективні гідрогеологічні показники акваторії водонапірних басейнів (на прикладі Причорноморського басейну) / І. В. Колодій, М. В. Харченко, П. М. Мельничук // Проблеми нафтогазової промисловості. – 2010. – Вип. 8. – С. 28-34.
3. Коморний А. Ф. Палеозойські відклади північно-західного шельфу Чорного моря / А. Ф. Коморний, Є. П. Ларченков, О. О. Кочерба // Геодинаміка, сейсмічність і нафтегазоносність Чорноморсько-Каспійського регіона. Тезиси докладів на VI Міжнародній конференції "Крым-2005". – Симферополь, 2005. – С. 39-43.
4. Лещук Р. Й. Юрські відклади півдня України / Р. Й. Лещук, В. В. Пермяков, Б. М. Полухтович. – Львів: Євровіт. – 1999. – 336 с.
5. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря / П. Ф. Гожик, І. І. Чебаненко, М. І. Євдошук та ін. – Київ-Львів, 2007. – 232 с.
6. Нові матеріали про юрські утворення в акваторії Чорного моря / В. Г. Дулуб, Р. Й. Лещук, П. М. Мельничук та ін. // Тектоніка і нафтегазоносність Азово-Чорноморського регіона в зв'язі з нафтегазоносністю пасивних окраїн континентів: Мат. конф. – Симферополь, 2001. – С. 41-46.
7. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у двох томах. Т.1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / Відп. редактор П.Ф. Гожик. –К.: Логос, 2014. – 636 с.
8. Юрські відклади північно-західного шельфу Чорного моря / В. Г. Дулуб, Р. Й. Лещук, П. М. Мельничук та ін. // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1999. – №4. – С. 101-110.

References

1. Kolodiy, I.V. (2014). Expected localization of hydrocarbon deposits of the Black Sea aquiferous basin based on hydrogeochemical indications. *Visnyk KHNu im. V. N. Karazina*, 1128, 32-36. [in Ukrainian].
2. Kolodiy, I.V., Kharchenko, M.V., Melnychuk, P.M. (2010). Oil-gas prospecting hydrogeological indications of the aquiferous basins (example of Black Sea basin). *Problemi naftogazovoyi promyslovosti*, 8, 28-34. [in Ukrainian].
3. Komorniy, A.F., Larchenkov, E.P., Kocherba, O.O. (2005). Paleozoic deposits of the aquatic part of the Black Sea. *Geodinamika sejsmichnosti neftegazoznosnost Chernomorsko-Kaspijskogo regiona: Tezisy dokl. VI Mezhdunar. konferentsii*. (pp. 39-43) Simferopol. [in Ukrainian].
4. Leshukh, R.J., Permyakov, V.V., Polukhtovich, B.M. (1999). Jurassic deposits of the South of Ukraine. *Lviv: Eurovit*. [in Ukrainian].

5. Gozhyk, P.F., Chebanenko, I.I., Yevdoschuk, M.I. et al. (2007). Objectives of Ukraine perspective for Oil and Gas. *Scientific and practical bases of hydrocarbon fields prospecting in the Northwestern shelf of the Black Sea*. Kyiv-Lviv. [in Ukrainian].
6. Dulub, V.G., Leshukh, R.J., Melnichuk, P.M., Turkevich, E.V., Polukhtovich, B.M. (2001). New materials on Jurassic deposits of the aquatic part of the Black Sea. In *Tectonica i neftegazonosnost Azovo-*

- Chernomorskogo regiona v svyazi s neftegazonosnostju passivnykh okrain kontinentov*: Abstracts. (pp. 41-46) Simferopol. [in Ukrainian].
7. Gozhyk, P.F. (Ed.). (2014). *Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine*. (Vol. 1). Kyiv: Logos. [in Ukrainian].
8. Dulub, V.G., Leshukh, R.J., Melnichuk, P.M., Turkevich, E.V., Polukhtovich, B.M. (1999). Jurassic deposits of the aquatic part of the Black Sea. *Geologia i geokhimiya goryuchich kopalin*, 4, 101-110. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 01.07.15

N. Zhabina, Dr. Sci. (Geol.)
Institute of Geological Sciences
National Academy of Sciences of Ukraine
55-b Oles Honchar Str., Kyiv, 01022, Ukraine
E-mail: zhabinanatalia@gmail.com

O. Anikeeva, Cand. Sci. (Geol.)
Institute of Geology
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: geolena@ukr.net,

I. Kolodiy, Cand. Sci. (Geol.)
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
National Academy of Sciences of Ukraine
3-a Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine
E-mail: ivannakolodiy@gmail.com

L. Mintuzova, Cand. Sci. (Geol.)
LB of Ukrainian State Research Institute
E-mail: luda_mint@mail.ru

NEW DATA ON THE STRATIGRAPHY OF DEPOSITS AND HYDROGEOCHEMICAL CONDITIONS OF PRADNIEPER AREA (NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA SHELF)

The results of the reomvestogatom study and retrospective analysis of materials of parametric drilling of the Pradniprovska-2 well are represented. Investigations of stratigraphy, microfacial and micropaleontological study of the well have been carried out. The hydrogeochemical and gas-hydrogeochemical indicators (gas composition of water dissolved gases and pressure of saturation) of oil and gas contents are also analyzed.

In the studied section sediments that are treated to be Tithonian some sequence discontinuities were found and the presence of rocks containing numerous planktonic foraminifera of the Lower and Upper Cretaceous (Albian-Cenomanian) were revealed. Additional study of the section and analysis of the stratigraphic distribution of determined does not reveal the Tithonian sediments but indicate the presence of tectonic dislocation zone which comprises Upper Jurassic (Tithonian, Kimmeridge-Tithonian), Upper Jurassic-Lower Cretaceous (Tithonian-Berriasian) and Cretaceous (Albian-Cenomanian) depositions.

The hydrogeochemical evidences and high values of hydrostatic coefficient testify to hydrogeological isolation of the underground levels of the Pradnieper area. Water dissolved gases of hydrocarbon composition are of very informative.

High relative gas saturation of the formation water from the Maikopian sediments may indicate that the well has gone out of the contour of gas-bearing strata. The water inflows produced during the testing of the Lower Cretaceous deposits and hydrocarbon composition of dissolved gas may indicate the prospects of the Lower Cretaceous ones. However, to obtain reliable numerical values of certain parameters during the test of water-bearing objects it is necessary to do qualitative sampling of formation water.

The data on the stratigraphy and hydrogeology of deposits discovered in the Pradnieper area, indicate the necessity in prolongation of geological and exploration work on the slope of the East European Platform where besides Pradnieper uplift a group of prospecting uplifts as to hydrogeological features (Tendravska, Dniester, Skadovsk) have been revealed and which can be useful at planning and carrying out of exploration works.

Keywords: Upper Jurassic, Cretaceous, Maikopian, tectonic dislocation, hydrogeochemical indicators, water dissolved gases, the Black Sea oil- and -gas-bearing basin.

Н. Жабина, д-р геол. наук
Институт геологических наук НАН Украины
ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01022, Украина
E-mail: zhabinanatalia@gmail.com

Е. Аникеева, канд. геол. наук
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: geolena@ukr.net

И. Колодий, канд. геол. наук
Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины
ул. Научная, 3-а, г. Львов, 79060, Украина
E-mail: ivannakolodiy@gmail.com

Л. Минтузова, канд. геол. наук
Львовское отделение УкрГГРИ, Львов, Украина
E-mail: luda_mint@mail.ru

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО СТРАТИГРАФИИ ОТЛОЖЕНИЙ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ПРАДНЕПРОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ШЕЛЬФ ЧЕРНОГО МОРЯ)

Представлены результаты доизучения и ретроспективного анализа материалов бурения параметрической скважины Праднєпровська-2. Проведены стратиграфические, микрофацальные и микропалеонтологические исследования керна скважины. Также проанализированы гидрогеохимические и газо-гидрогеохимические (по составу растворенных в воде газов и давлению насыщения) показатели нефтегазоносности.

В изученном разрезе в отложениях, которые считаются титонскими, установлено нарушение последовательности разреза и наличие пород, в которых в большом количестве содержатся планктонные фораминиферы нижне-верхнемелового (альб-сеноманского) возраста. Доизучение разреза и анализ стратиграфического распространения микрофаунистических остатков позволили установить, что в нижней части скважины раскрыты не отложения титона, а зона тектонических нарушений, в которой задействованы отложения верхней юры (титона, киммериджа-титона), верхней юры-нижнего мела (титона-берриаса) и мела (альб-сеномана).

Гидрогеохимические показатели и высокие значения коэффициента гидростатичности свидетельствуют о гидрогеологической закрытости недр на Праднєпровской площади. Высокоинформативными являются водорастворенные газы углеводородного состава. Высокая относительная газонасыщенность пластовых вод майкопских отложений может свидетельствовать о том, что скважина попала за контур газонасного пласта. Притоки воды, полученные во время испытания нижнемеловых отложений и углеводородный состав растворенного газа могут свидетельствовать о перспективности нижнемеловых отложений. Однако для получения надежных числовых значений отдельных показателей во время испытания водоносных объектов необходимо получить качественные пробы пластовой воды.

Полученные результаты по стратиграфии и гидрогеологии отложений, раскрытых на Праднєпровской площади, свидетельствуют о целесообразности продолжения геолого-поисковых работ на склоне Восточно-Европейской платформы, где, кроме Праднєпровского, выявлена группа поднятий, перспективных по гидрогеологическим особенностям (Тендровское, Днєстровское, Скадовское), и могут содействовать планированию и проведению этих работ.

Ключевые слова: верхняя юра, мел, майкоп, тектонические нарушения, гидрогеохимические показатели, водорастворенные газы, Причерноморский нефтегазоносный бассейн.

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 МЕТАКОНГЛОМЕРАТІВ СКЕЛЮВАТСЬКОЇ СВИТИ КРИВОРІЗЬКОЇ СТРУКТУРИ

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

Палеогеографічна реконструкція скелюватської свити проводилася на основі таких методик: зіставлення коефіцієнтів інтенсивності вивітрювання і осадової диференціації О.О. Предовського, методу М.М. Страхова – "ідеальний профіль", відношення елементів-індикаторів і фаціальні умови осадконакопичення – умови осадконакопичення. За допомогою методики С.А. Головонок і в результаті порівняння хімічних складів порід скелюватської свити із середнім кларковим складом породоутворювальних оксидів у магматогенних породах зроблена реконструкція кліматичних умов осадконакопичення свити. Використання формаційного аналізу дозволило визначити ймовірні джерела надходження уламкового матеріалу і шляхи його транспортування.

Результати зіставлення коефіцієнтів інтенсивності вивітрювання – W і осадової диференціації – d з такими ж різних типів зон тектонічних режимів, були порівняні з породами скелюватської свити. Вони вказують на те, що стабілізований режим на межі двох підсвіт скелюватської свити змінився помірно активізованим. Зростання ролі тектонічної активізації в період накопичення осадового матеріалу другої підсвіти підтверджується також низьким ступенем зрілості глинистого матеріалу і збільшенням алюмокремнієвого модулю. Вміст більшості петрохімічних елементів свити нарастає від псамітів до пелітів, витримуючи в цілому закономірність, властиву "ідеальному профілю", від прибережної зони до "пелагічної". Розподіл петрохімічних елементів у "ідеальному профілі" можна охарактеризувати як згладжений, що є типовим для алювіально-пролювіальних відкладів, згодом перерозподілених в прибережних умовах, про що свідчать два піки максимальних значень елементів – в конгломератах і сланцях. Аналогічні результати отримані і при використанні співвідношень елементів-індикаторів.

Реконструкція кліматичних умов, свідчить про формування порід скелюватської свити в умовах жаркого і вологого клімату, і також про формування осадів в перехідних, від континентальних до прибережно-морських умовах.

На основі формаційного аналізу виявлені джерела надходження уламкового матеріалу, яким виступали породи розвинені на схід від басейну осадконакопичення, а саме породи Середньопридніпровського комплексу, які об'єднують утворення зеленокамяних структур, у будові яких беруть участь метаморфізовані вулканіти основного, середнього та кислого складу, теригенні породи і гранітоїди сурсько-токівського інтрузивного комплексу.

Ключові слова: палеогеографія, метаконгломерати, скелюватська свита, палеотектонічний режим, палеокліматичні умови.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перші відомості про конгломерати скелюватської свити наводяться в працях М. Світальського [22]. Їх детальне петрографічне вивчення проводилося Л. Ходюш [28], який виділив за складом цементуючого матеріалу польовошпатові й кварц-слюдисті відміни. Я. Белевцев та ін. [3] вказували на існування двох різновидів конгломератів – сланцевих та кварцових. Перші характеризуються аркозовим цементом, зі сланцевою та кварцитовою галькою. Другий різновид становлять конгломерати, складені галькою жильного кварцу, кварцитів і сланців, цементовані кварц-серцитовим або істотно кварцовим матеріалом. О. Каршенбаум [10] і М. Доброхотов [9] відзначають серед гальок амфіболіти, амфіболіві сланці й гранітоїди. Палеогеографічна обстановка й умови формування грубоуламкових утворень скелюватської свити розглядалися в роботах М. Гречішнікова, Є. Гречішнікової [6], О. Стригіна [27], які вважали, що конгломерати основи розрізу Криворізької структури є відкладами дельти і конусів виносу.

Фундаментальні дослідження скелюватської свити проводилися у 80-і роки минулого століття галузевою Науково-дослідною лабораторією Львівського національного університету ім. І. Франка за участю І. Паранька, А. Росихіної та Є. Лавренко під керівництвом Г. Яценко [34]. Основний напрям досліджень був пов'язаний із формаційною приналежністю конгломератів південного замикання Криворізької синкліналі та вивченням металогічної спеціалізації докембрійських конгломератів.

Вагомий внесок у дослідження конгломератів УЦ в цілому і Кривбасу зокрема, впродовж 80-90-х років, належить І. Параньку в співавторстві з В. Рябенко, Т. Міхницькою, Г. Яценко, Є. Сливко, Б. Малюком [13, 15-18, 33]. Роботи присвячені складу й будові метатеригенних формацій Кривого Рогу. Були сформовані нові уявлення про будову криворізької структури та її стратиграфічне розчленування загалом, охарактеризовані склад і умови формування скелюватської свити зокрема.

Останні дослідження, присвячені скелюватським конгломератам, публікуються на початку 2000-х років М. Дерябіним [7, 8], де породи скелюватської свити розглядаються з точки зору гідротермально-метасоматичного (флюїдального) походження, в зонах фільтрації (шви розломів) кременисто-залізистих флюїдних потоків. Розглядається неприйнятність застосування методу компенсованого нагромадження та кількісної оцінки тектонічної активності за градієнтом потужності осадів скелюватської свити (Е. Куліш, В. Покалюк, 2007 р.).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Конгломерати містять інформацію про процеси осадконакопичення, кліматичну і палеогеографічну обстановку на ранніх стадіях розвитку Землі. З іншого боку, як показує світова геологічна практика, – це потенційні на пошуки промислових концентрацій золота, урану й алмазів породні комплекси. Прикладом останнього можуть слугувати конгломерати Вітватерсранда Південної Африки і Таркви Гана [1, 2]. На території Європи докембрійські конгломерати відомі серед породних комплексів Українського й Балтійського щитів Східноєвропейської платформи, де вони утворюють природні виходи на денну поверхню, доступні для всебічного вивчення.

Завданням робіт було за допомогою геохімічних даних відтворити тектонічні умови осадконакопичення, визначити континентальні чи морські умови осадконакопичення, кліматичні умови та можливі шляхи переміщення теригенного матеріалу.

Виклад основного матеріалу. Розпочатий на завершальній стадії формування новокриворізької свити етап тектонічної стабілізації району тривав і під час утворення нижньої підсвіти скелюватської свити. Свідченням цьому є як олігоміктовий склад теригенних порід свити, так і результати зіставлення коефіцієнтів інтенсивності вивітрювання – W і осадової диференціації – d , розроблених О. Предовським [19], з такими різних типів зон тектонічних режимів. Розраховані величини параметрів W і d для верхньої підсвіти скелюватської

світі (табл. 1) вказують на те, що стабілізований режим на межі двох підсвіт змінився помірно активізованим. Зростання ролі тектонічної активізації в період накопичення осадов другої підсвіти підтверджується також низьким ступенем зрілості глинистого матеріалу

($Al_2O_3 : Na_2O = 23,3$; $K_2O : Na_2O = 6,85$ [18]). Збільшення, порівняно з підстилаючими олігоміктовими псамітами, алюмокремнієвого модуля від 0,07 до 0,32 свідчить про хороший ступінь диференціації пелітів верхньої підсвіти [17, 18].

Таблиця 1

Співставлення наближених кількісних оцінок інтенсивності вивітрювання і ступеня осадкової диференціації для метасадових товщ різних палеотектонічних режимів і утворень скелюватської світи

Типи зон тектонічних режимів	Параметри за О.О. Предовським [19]		Параметри утворення скелюватської світи [18]	
	W	d	W	d
Стабілізовані прогини	80	17	96*	
Помірно активізовані прогини	58	2,4	79**	2,55
Середнього і сильного ступеня активізовані прогини	40	1,6		
Помірно активізовані підняття	48	1,6		

Примітка: W – інтенсивність вивітрювання, d – ступінь осадкової диференціації, * – нижня підсвіта, ** – верхня підсвіта

Поєднання високих значень коефіцієнтів інтенсивності вивітрювання та порівняно низького ступеня осадкової диференціації можливе тільки при існуванні змінних, континентальних (пролювіальних, алювіальних) і прибережно-морських, умов осадконакопичення [14]. Підтвердженням цього є будова світи, в якій беруть участь як утворення прибережної зони (конгломерати, гравеліти), так і "пелагічні" відклади, представлені сланцями, а також результати, отримані при спробі відновлення умов осадконакопичення шляхом застосування методу М.М. Страхова [26], що базується на аналізі розподілу елементів у так званому "ідеальному профілі" – збільшення середнього вмісту елементів від прибережної зони (конгломерати, гравеліти) до пелагічної (сланці). На рис. 1 зображено результати аналізів мас-спектрометрії [34] порід літологічного ряду світи: конгломерат-гравеліт-пісковик-сланець (табл. 2), з якого видно, що вміст більшості елементів наростає від псамітів до пелітів, витримуючи в цілому закономірність, властиву "ідеальному

профілю" осадкового циклу, тобто від прибережної зони (конгломерат, гравеліт) до "пелагічної". Значення елементів у "ідеальному профілі" можна охарактеризувати як згладжене, перехідне від нерегульованого до впорядкованого типу, що виражається в низьких значеннях у гравелітах, що типово для алювіально-пролювіальних відкладів, згодом перерозподілених у прибережних умовах [23], про що свідчать два піки максимальних значень елементів – у конгломератах і сланцях (рис. 1). Аналогічні результати отримано й при використанні елементів-індикаторів [11, 12, 29] для встановлення характеру співвідношень уламконакопичення. Аналіз отриманих даних [34] (табл. 3) свідчить про формування порід у перехідній зоні. Враховуючи те, що в прибережній зоні максимальна седиментація проявлена в гирлах великих річок і дельт [20], а також той факт, що потужність скелюватської світи зменшується в центральній частині південного замикання, можна припустити дельтове формування конгломератів даної світи.

Таблиця 2

Середній вміст елементів в породах скелюватської світи (дані за [34])

Елементи	I	II	III	IV	V
Mn	216	197	240	226	230
P	386	363	312	312	320
V	42	25	26	107	120
Cr	92	63	56	131	120
Cu	75	56	36	40	54
Ni	64	37	25	38	45
Co	75	30	15	23	27
Ba	259	219	459	601	700
Be	1,1	1,0	1,0	1,1	-
Ga	13	9	9	23	17
Pb	131	45	25	32	45
Zn	7	4,7	3,4	5	69

Примітка: I – конгломерати, II – гравеліти кварцові (нижня підсвіта), III – гравеліти польовошпат-кварцові (верхня підсвіта), IV – пісковики, V – сланці філітові.

Інтенсивність вивітрювання при формуванні теригенних утворень знаходиться в прямій залежності від кліматичної обстановки [25]. Результати зіставлення петрохімічних характеристик порід світи на діаграмі SAK В. Голов'юнка [5] (рис. 2) свідчать про формування сланців в умовах морських і засолених лагун і озер аридного клімату (рис. 2б), а пісковиків – у континентальних умовах гумідного клімату (рис. 2а). Це підтверджує висловлене вище припущення про формування осадов у перехідних від континентальних до прибережно-морських умовах.

На схожість сланців світи з морськими глинами жаркого аридного клімату вказують і результати порівняння їх хімічних складів із середнім кларковим складом породоутворюючих окислів у магматогенних породах [5] (рис. 3), сильне відхилення лише за параметром CaO.

Незважаючи на деякі відмінності, риси подібності між первинно глинистими породами світи та глинами морських басейнів жаркого й вологого клімату очевидні. На зміну кліматичних умов формування скелюватської світи вказують й інші геологічні ознаки. Наведений вище аналіз складу та будови світи дозволяє розрізнити серед її утворень аналоги мономіктові, олігоміктові й мезоміктові літогенетичних ("кліматичних") формацій, виділених В. Сініциним [25]. Переважно кварцовий, олігоміктовий склад теригенних порід нижньої підсвіти скелюватської світи дає можливість зіставляти її з мономіктові та олігоміктові літогенетичними формаціями, що утворюються в умовах екваторіального клімату [25], а верхню підсвіту – з мезоміктові літогенетичною асоціацією, характерною для зон з субтропічним кліматом.

Розпочата стабілізація тектонічного режиму на початку формування скелюватської світи, спільно з кліматичною обстановкою, яка характеризується рисами жаркого й вологого клімату, зумовили підвищення інтенсивності вивітрювання в областях живлення, що послужило причиною формування теригенних порід кварцового складу нижньої підсвіти скелюватської світи. Прогинання дна басейну в період накопичення новокриво-

різької світи компенсувалося підняттям території на схід від Криворізької структури, що призводило до утворення гірської країни з добре розвинуеною мережею водотоків, що характеризуються інтенсивним гідродинамічним режимом, про що свідчить наявність крупногалечних конгломератів у складі теригенних порід скелюватської світи.

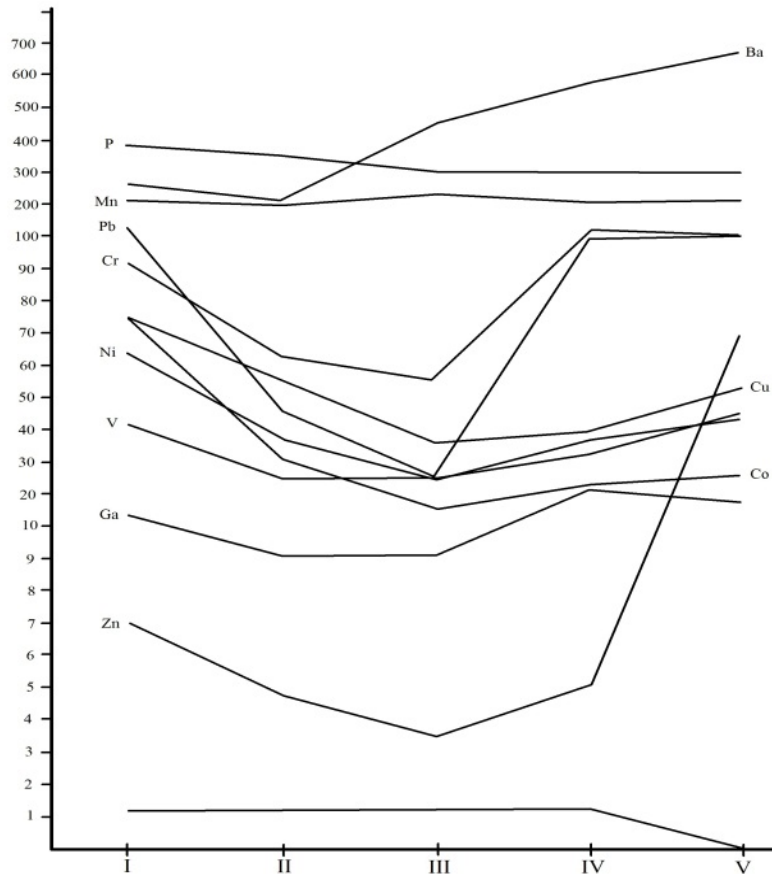


Рис. 1. Розподіл середніх значень елементів у метаосадових породах скелюватської світи (на основі табл. 2): по горизонтальній осі: I – конгломерати, II – гравеліти кварцові (нижня підсвіта), III – гравеліти польовошпат-кварцові (верхня підсвіта), IV – пісковики V – сланці філітові; по вертикальній осі – середній вміст елементів у породах

Таблиця 3

Величини відношення елементів-індикаторів і фаціальні умови осадконакопичення порід скелюватської світи (підраховано за даними 72 аналізів [34])

Породи. Відношення елементів-індикаторів	Величини відношень	Умови осадконакопичення
Конгломерати		
V : Cu	0,56	Континентальні
V : Zr	0,27	Континентальні
Гравеліти (нижня підсвіта)		
Al : Ti	33,2	Прибережно-морські
V : Cu	0,45	Континентальні
V : Zr	0,12	Континентальні
Гравеліти (верхня підсвіта)		
Al : Ti	43,67	Континентальні
V : Cu	0,72	Континентальні
V : Zr	0,23	Континентальні
Пісковики		
Al : Ti	39,03	Прибережно-морські
V : Cu	2,67	Морські
V : Zr	0,35	Морські
Сланці		
Al : Ti	21,84	Морські
V : Cu	2,22	Морські
V : Zr	0,33	Морські

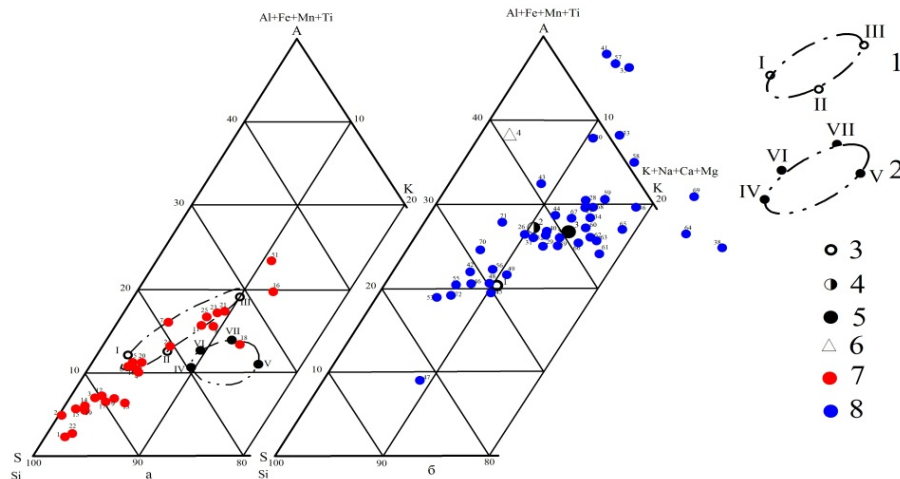


Рис. 2. Діаграма порівняння складу пісковиків (а) і сланців (б) скелюватської світи із "еталонними" типами пісків і глин різних кліматичних зон:

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 і помірно-холодного клімату; 4 – морські; 5 – морські і засолених лагун і озер аридного клімату; 6 – континентальні вологого і жаркого клімату. Фігурні точки: 7 – пісковики, 8 – сланці

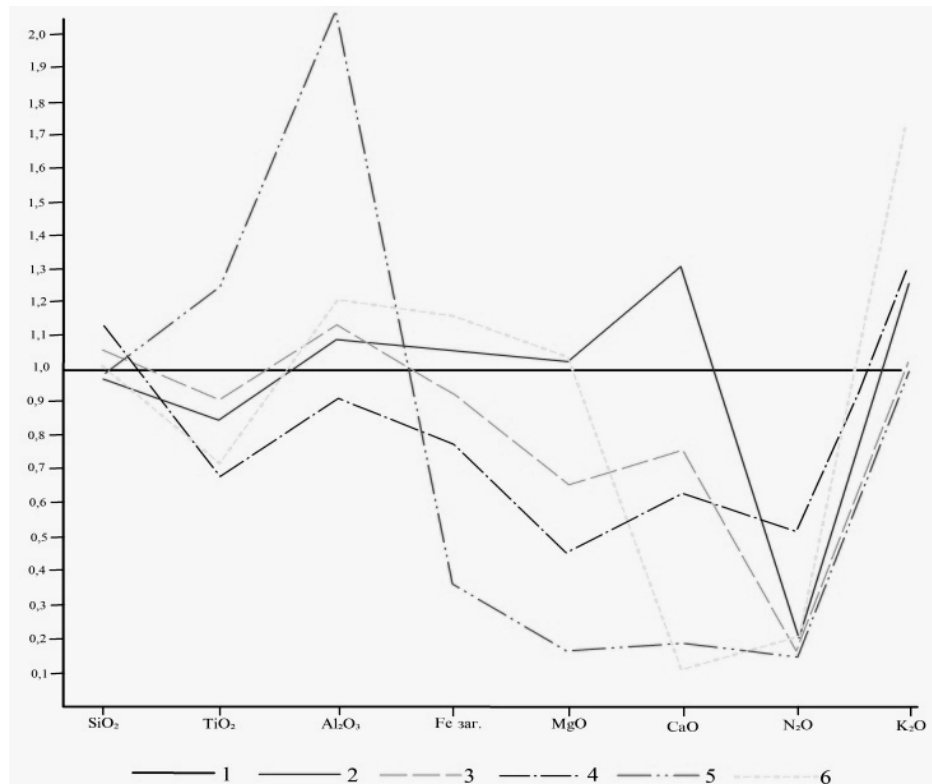


Рис. 3. Співвідношення середніх хімічних складів різних генетичних типів глин і сланців скелюватської світи:

1 – середній хімічний склад магматичних порід, за Кларком і Вашингтоном (прийнято за 1);
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 скелюватської світи

Перешарування конгломератів з уламками більш дрібних фракцій (гравелітами, пісковиками) вказує на періодичність надходження грубоуламкового матеріалу в басейн осадконакопичення, що пов'язано, очевидно, як з вертикальними коливаннями території, так і зі зміною інтенсивності гідродинамічного режиму водотоків за рахунок періодичного випадання атмосферних опадів (зливових дощів), характерних для зон субтропічного клімату. Ділянки розвитку дельтових утворень скелюватської світи просторово збігаються з ділянками розвитку сланцевих конгломератів новокриворізької світи, що сформувалися в каньйоноподібних западинах,

тобто дельти палеопотоків неначе успадкували раніше закладені три річкові долини [16, 17], які розміщені: перша – в районі м. Інгuleць, друга – на території сьогоdnішнього житлового масиву Південного ГЗК і третя – південніше населеного пункту Веселі Терни (район шахти ім. В.І. Леніна), що дозволяє припустити напрямок русел, які, безсумнівно, були приурочені до зон тектонічних розломів, що обмежують западини. Така закономірність при палеогеографічних реконструкціях дає можливість відносно точно обмежити території, які виступали джерелами уламкових матеріалів.

Серед дослідників Кривбасу утвердилася думка, що основним джерелом уламкового матеріалу конгломератів були розвинені на схід від Криворізької структури граніти й мігматити дніпропетровського комплексу та пов'язані з ними метаморфічні утворення [6, 27]. Наведений нами аналіз дозволяє переглянути викладені вище уявлення. Відомо, що в будові дніпропетровського комплексу беруть участь, головним чином, плагіограніти та плагіомігматити, а асоціюються з ними супракрусталні утворення, представлені амфіболітами, гранатбіотитовими, біотит-амфіболовими, амфіболовими гнейсами та сланцями [31, 32]. У складі грубоуламкового матеріалу конгломератів переважають гальки кварцитів, які серед утворень дніпропетровського комплексу відсутні, що свідчить проти приналежності цього комплексу до головного джерела уламкового матеріалу. Основна частина псамітів світи, згідно з петрохімічними перерахунками, належить до калішпатових різновидів, тобто характеризується переважанням калію над натрієм, що вказує на приналежність материнських порід до утворень з підвищеною калієвістю (величини петрохімічних параметрів A і F [19] свідчать про те, що при фор-

муванні аркозів і граувак світи розвивалися породи середнього, кислого й основного складу). Аналіз розрізів структурно-формаційних комплексів, розвинених на схід від басейну осадконакопичення, проведений Г. Яценко та І. Параньком [33, 34], вказує на те, що розвивалися, цілком можливо, породи середньопридніпровського комплексу, що об'єднує утворення зеленокам'яних структур, у будові яких беруть участь метаморфізовані вулканіти основного, середнього та кислого складу, теригенні породи (кварцити, метапісковики) [23, 24] і гранітоїди сурсько-токівського інтрузивного комплексу. Кластогенний матеріал зносився палеопотоками, напрямком течії яких збігався з напрямком простягання зеленокам'яних структур (рис. 4). Підтвердженням цьому є й порівняння даних абсолютного віку циркону з конгломератів світи (3020-2340 млн р.) і порід середньопридніпровського комплексу. Дані отримано за допомогою методу мас-спектрометрії індуктивно-пов'язаної плазми з лазерною абляцією [30]. Дані показали, що вік циркону в конгломератах світи становить 3020-2340 млн р., а вік порід середньопридніпровського комплексу 3200-2800 млн р. [30].

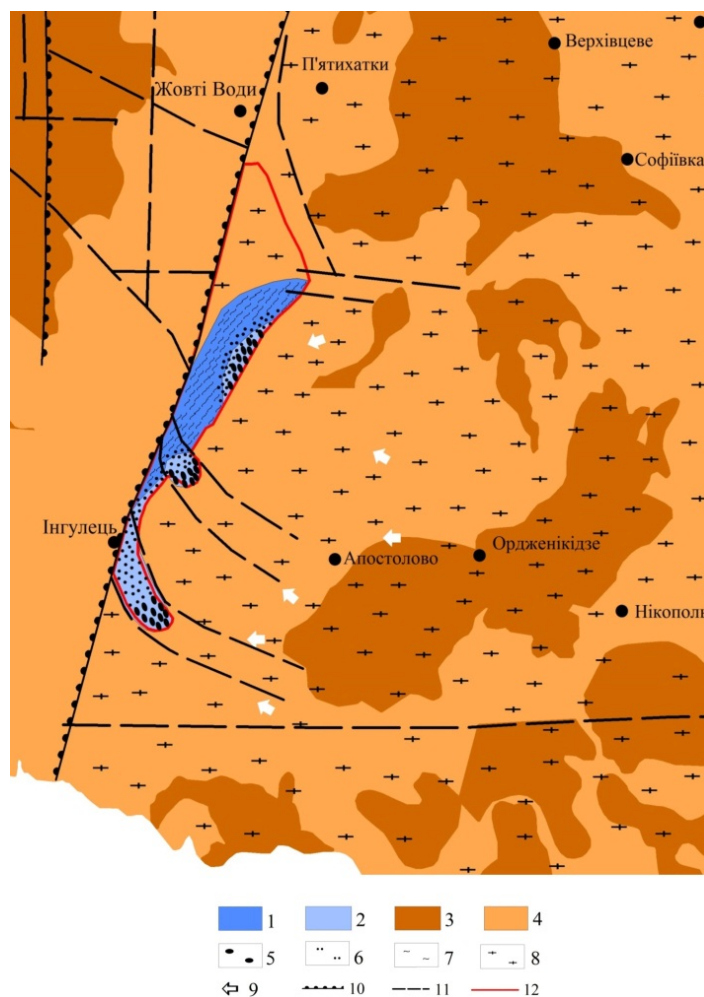


Рис. 4. Палеогеографічна схема Криворіжжя на час формування метатеригенних порід скельватської світи (схему побудовано на основі [4], за даними [11, 18])

Умовні позначки: 1 – море глибоке; 2 – море мілке, прибережна частина; 3 – області інтенсивного знесення; 4 – області додаткового знесення; 5 – конгломерати; 6 – пісковики; 7 – сланці; 8 – породи середньопридніпровського і сурсько-токівського комплексів; 9 – головні напрями зносу уламкового матеріалу; 10 – розломи мантийного закладення; 11 – корового закладення; 12 – контур Криворізької структури

Висновки. В ранньому протерозої на території Криворіжжя існували три потужні палеорічки зі змінним гідродинамічним режимом. Одна впадала в Криворізький палеобасейн з півдня в районі м. Інгулець, друга проти-

кала з південного сходу на північний захід і її русло знаходилось між смт. Широке та м. Апостолове, а гірло знаходилось на території сьогодишнього житлового масиву Південного ГЗК; русло третьої характеризува-

лося субширотним простяганням і проходило південніше населеного пункту Веселі Терни (район шахти ім. В.І. Леніна). Наявність таких конусів виносу підтверджується фаціальним заміщенням по простяганням порід скелюватської світи пісковиково-гравеліт-конгломератових парагенезисів гравеліт-пісковиковими, а останніх – пісковиково-сланцевими. Це дозволяє припускати, що пролювіальні відклади підлягали перерозподілу хвилями палеобасейну, в який впадали водні потоки. Всі ці процеси відбувалися, в основному, в умовах аридного клімату.

Список використаних джерел

- Белевцев Р. Я. Метаморфическая зональность Криворожского бассейна / Р. Я. Белевцев // Геол. журн. – 1970. – № 30. – С. 25-38.
- Белевцев Я. Н. Главнейшие черты металлогении докембрийских щитов / Я. Н. Белевцев, Г. И. Каляев // Металлогения Украины и Молдавии. – Киев: Наук. думка, 1974. – С.16-21.
- Белевцев Я. И. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / Я. И. Белевцев, И. А. Акименко, В. И. Горошников и др. – М.: Госгеолтехиздат, 1957. – 279 с.
- Геологічна карта докайнозойських утворень України / Державна геологічна служба України; редкол.: Д. С. Гурський (голов. ред.) та ін. – Київ, 2007.
- 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.
- Гречишников Н. П. Дослід реконструкції докембрійської фізико-географічної обстановки на основі вивчення порід нижньої світи криворізької серії / Н. П. Гречишников, З. М. Гречишнікова // Геологічний журнал. – 1966, № 2. – С.3-15.
- Дерябин Н. И. О происхождении пород скелюватской свиты Кривбасса / Н. И. Дерябин // Геол. журнал. – 1995. – № 2. – С. 110-115.
- Дерябин Н. И. О скелюватской свите (комплексе) Кривбасса / Н. И. Дерябин // Геол. журнал. – 2008. – № 2. – С. 100-107.
- Доброхотов М. Н. К вопросу о стратиграфии раннего докембрия Среднего Приднепровья / М. Н. Доброхотов // Геол. журн. – 1964. – № 2. – С. 85-94.
- Каршенбаум А. Н. Геологическая структура северной части Саксаганской полосы / А. Н. Каршенбаум // Геология и генезис руд Криворожского железорудного бассейна. – Киев: Изд-во АН УССР, 1955. – С.53-68.
- Катченков С. М. Малые элементы в осадочных породах и нефтях / С. М. Катченков. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 271 с.
- Кейт М. Л., Дегенс Э. Т. Геохимические индикаторы морских и пресноводных осадков / М. Л. Кейт, Э. Т. Дегенс // Геохимические исследования. – М.: ИЛ, 1961. – С. 55-84.
- Малюк Б. І. Застосування нетрадиційних методів геологічних досліджень для кореляції вулканогенно-осадочних відкладів / Б. І. Малюк, І. С. Паранько // Геологический журнал. – 1992. – № 3. – С. 127-136.
- Мележик В. А. Геохимия раннепротерозойского литогенеза (на примере северо-востока Балтийского щита) / В. А. Мележик, А. А. Предовский. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
- Паранько И. С. Конгломераты в формациях Криворожской структуры / И. С. Паранько // Материалы 3-й конф. молодых ученых Ин-та геологии и геохимии горючих ископаемых АН УССР. – Львов, 1986. – Т.1.: Геология. – С. 33-38.
- Паранько И. С. Докембрийские конгломератосодержащие и конгломератовые формации Украинского щита / И. С. Паранько // Геол.журн. – 1987. – 47, № 5. – С.83-92.
- Паранько И. С. Этапы геологического развития и стратиграфия Криворожской структуры / И. С. Паранько, Т. П. Михницкая. – Киев, 1991. – 51 с. – (Препринт/ АН Украины, Институт геологических наук; 91-10).
- Паранько И. С. Конгломераты в формациях Украинского щита / И. С. Паранько, В. А. Рябенко. – Киев, 1990. – 55 с. – (Препринт/ АН УССР, Ин-т геологических наук; 90-14).
- Предовский А. А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия / А. А. Предовский. – Л.: Наука, 1980. – 152 с.
- Рухин Л. Б. Основы литологии / Л. Б. Рухин. – Л.: Недра, 1969. – 703 с.
- Рябенко В. А. Стратиграфические подразделения и геологические структуры Украинского щита / В. А. Рябенко // Стратиграфия и формации докембрия Украины. – Киев: Наук. думка, 1983. – С.5-39.
- Свитальский Н. И. Железорудное месторождение Кривого Рога / Н. И. Свитальский // Тр. Всесоюз. геол.-развед. Об-ния. – 1932. – Т. 153. – 283 с.
- Сиворонов А. А. Метаморфизованные вулканогенные и осадочно-вулканогенные формации зеленокаменных поясов Среднего Приднепровья и Карелии / А. А. Сиворонов, А. Г. Смоголюк, В. Д. Колий, М. Г. Сирота. – Киев, 1984. – 72 с. (Препр. / АН УССР. ИГФМ).
- Сиворонов А. А. Метаморфизованные вулканогенные формации раннедокембрийских зеленокаменных поясов Украинского щита. Ст.1.: Состав и строение / А. А. Сиворонов, Б. З. Берзенин, В. И. Малюк и др. // Геол. журн. – 1961. – 41, № 5. – С. 22-28.
- Синицын В. М. Введение в палеоклиматологию / В. М. Синицын. – М.: Недра, 1967. – 232 с.
- Страхов Н. М. Основы теории литогенеза / Н. М. Страхов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т.2. – 374 с.
- Стригин О. І. Стратиграфія аркозового горизонту нижньої світи криворізької серії в північній частині Саксаганського району / О. І. Стригин // Геол. журн. – 1960. – № 20. – С. 81-84.
- Ходюш Л. Про так звану аркозо-конгломератову товщу криворізького басейну / Л. Ходюш // Геол.журн. – 1956. – 16, № 6. – С. 61-66.
- Шов Э. М. Геология кавказского и крымского флиша / Э. М. Шов // Литология и полезные ископаемые. – 1971. – № 3. – С.84-101.
- Шумлянский Л. В. Генезис та вік циркону із "Латівського" горизонту Криворізької серії Українського щита / Л. В. Шумлянский, О. Б. Бобров, І. С. Паранько та ін. // Мінералогічний журнал. – 2011. – № 1. – С. 30-40.
- Щербак Н. П. Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита / Н. П. Щербак, К. И. Есипчук, Б. З. Верзений и др. – Киев: Наук. думка, 1985. – 166 с.
- Этингоф И. М. Корреляционная региональная стратиграфическая схема докембрийских (довендских) образований / И. М. Этингоф, Я. П. Вилинская, В. З. Верзений и др. // Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских образований Украинского щита для геологических карт масштаба 1:50000 (1:25000) : Объяснительная записка. – Киев, 1986. – С. 6-55.
- Яценко Г. М. Конгломераты и стратиграфическое расчленение докембрия Украинского щита / Г. М. Яценко, И. С. Паранько // Геологический журнал. – 1990. – № 6. – С. 11-21.
- Яценко Г. М. Формационная принадлежность конгломератов южного замыкания Криворожской синклинали / Г. М. Яценко, И. С. Паранько, А. И. Росихина, Е. И. Лавриненко // Изучение углеводородных и конгломератовых формаций в пределах Криворожско-Кременчугской зоны : Промежуточный отчет по теме. – Львов, 1983. – 105 с.

References

- Belevtsev, R.Y. (1970). Metamorphic zonation of Krivoy Rog basin. *Geol. Journal*, 30, 25-38. [in Russian].
- Belevtsev, Y.N., Kalyaev, G.I. (1974). The main features of Precambrian shields metallogeny. *Metallogeny of Ukraine and Moldova*. (pp. 16-21) Kiev: Science Dumka. [in Russian].
- Belevtsev, Y.I., Akimenko, I.A., Goroshnikov, V.I. et al. (1957). *The geological structure and iron ores of Krivoy Rogbasin*. Moscow: Gosgeoltekhizdat. [in Russian].
- Hursky, D.S. (Eds.). (2007). *Geological map precenozoic formations of Ukraine*. Kyiv: State geological service of Ukraine. [in Ukrainian].
- Golovenok, V.K. (1966). Lithology and paleogeography of clay and clastic strata of middle Proterozoic Baikai mountain region in connection with the tasks of forecasting the spread of alumina raw materials and ancient placers. In *Problems of Precambrian sedimentary geology*. (Issue 1, pp. 17-32). Moscow: Nedra. [in Russian].
- Hrechyshnikov, N.P., Hrechyshnikova Z.M. (1966). An experience of reconstruction Precambrian physical and geographical conditions by studying the rocks of the lower suite of Krivorozhskaya series. *Geol. Journal*, 2, 3-15.
- Deryabin, N.I. (1995). On the origin of rocks of skelevatsky suite Kryvbas. *Geol. Journal*, 2, 110-115. [in Russian].
- Deryabin, N.I. (2008). About skelevatsky suite (complex) Kryvbas. *Geol. Journal*, 2, 100-107. [in Russian].
- Dobrokhoto, M.N. (1964). On the issue of Early Precambrian Stratigraphy Middle Dnieper region. *Geol. Journal*, 2, 85-94. [in Russian].
- Karshenbaum, A.N. (1955). Geological structure of the northern part of the strip Saksahan. In *Geology and ore genesis Kryvbas*. (pp. 53-68) Kiev: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. [in Russian].
- Katchenkov, S.M. (1959). *Small elements in sediments and oil*. Leningrad: Gostopetehizdat. [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].
- Maluk, B.I., Paranko, I.S. (1992). Zastosuvannya netraditsiynih metodiv geologichnih doslidzhen for korelyatsii volcanosedimentary vidkladiv. *Geol. Journal*, 3, 127-136.
- Melezhih, V.A., Predovsky, A.A. (1982). *Geochemistry of Proterozoic lithogenesis (for example the north-east of the Baltic Shield)*. Moscow: Nauka. [in Ukrainian].
- Paranko, I.S. (1986). Conglomerate formations Krivoy Rog structure. *Proceedings of the 3rd Conf. Young Scientists of the Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the USSR Academy of Sciences*. (Vol. 1: Geology, pp. 33-38). Lviv. [in Russian].
- Paranko, I.S. (1987). Precambrian conglomerate-bearing and conglomerate formation of the Ukrainian Shield. *Geol. Journal*, 47(5), 83-92. [in Russian].
- Paranko, I.S., Mihnitskaya, T.P. (1991). *Stages of geological development and stratigraphy of Kryvyi Rih*. Kyiv. Preprint Ukrainian Academy of Sciences, Institute of Geological Sciences; 91-10. [in Russian].
- Paranko, I.S., Ryabenko, V.A. (1990). *Conglomerate in formations of the Ukrainian Shield*. Kyiv. Preprint. Ukrainian Academy of Sciences, Institute of Geological Sciences, 90-14. [in Russian].
- Predovsky, A.A. (1980). *Reconstruction of conditions of sedimentation and volcanism in the Early Precambrian*. Leningrad: Nauka. [in Russian].
- Rukhin, L.B. (1969). *Basicslithology*. Leningrad: Nedra. [in Russian].

21. Ryabenko, V.A. (1983). Stratigraphic units and geological structures of the Ukrainian Shield. In *Precambrian Stratigraphy and formation of Ukraine*. (pp. 5-39). Kiev: Science Dumka. [in Russian].
22. Switalski, N.I. (1932). Krivoy Rog iron ore deposits. *Tr. All-Union. Geol.-divorced*, 153, 283 p. [in Russian].
23. Sivoronov, A.A., Smogolyuk, A.G., Koliy, V.D., Sirota, M.G. (1984). *Metamorphosed volcanic and sedimentary-volcanic formations of greenstone belts of Karelia and the Middle Dnieper*. Kyiv. Preprint. Ukrainian Academy of Sciences, IGFM. [in Russian].
24. Sivoronov, A.A., Berzenin, B.Z., Maluk, V.I. et al. (1961). Early Precambrian metamorphosed volcanic formations greenstone belts of the Ukrainian shield. Article 1: The composition and structure. *Geol. Journal*, 41(5), 22-28. [in Russian].
25. Sinitsyn, V.M. (1967). *Introduction to paleoclimatology*. Moscow: Nedra. [in Russian].
26. Strakhov, N.M. (1962). *Fundamentals of the theory lithogenesis*. (Vol. 2). Moscow: AN SSSR. [in Russian].
27. Strigin, O.I. (1960). Stratygrafia arkozovoho horizontu nyzhnoi svity kryvorizkoi serii v pivnichnii chastyni Saksahanskoho raionu. *Geol. Journal*, 20, 81-84. [in Ukrainian].
28. Hodjush, L. (1956). About the title of the arkose-conglomerate strata of Kryvyi Rog basin. *Geol. Journal*, 16(6), 61-66. [in Ukrainian].

29. Shov, E.M. (1971). Geology of Caucasian and Crimean flysch. *Lithology and Mineral Resources*, 3, 84-101. [in Russian].
30. Shumlyansky, L.V., Bobrov, O.B., Paranko, I.S. et al. (2011). Genesis and age of zircon from "Lativskiy" horizon Kryvyi Rih series of Ukrainian Shield. *Mineralogical Journal*, 1, 30-40. [in Ukrainian].
31. Shcherbak, N.P., Esipchuk, K.I., Verzeniy, B.Z. et al. (1985). *Stratigraphic sections of Ukrainian Shield Precambrian*. Kiev: Science Dumka. [in Russian].
32. Etingof, I.M., Vilinskaya, Y.P., Verzeniy, V.Z. et al. (1986). The correlation of Precambrian regional stratigraphic scheme (dovendskih) formations. In *Stratigraphic schemes of Precambrian and Phanerozoic formations of the Ukrainian Shield for geological maps of scale 1:500000 (1:250000): Explanatory notice*. (pp. 6-55). Kyiv. [in Russian].
33. Yatsenko, G.M., Paranko, I.S. (1990). Conglomerates and stratigraphic division of Precambrian Ukrainian Shield. *Geol. Journal*, 6, 11-21. [in Russian].
34. Yatsenko, G.M., Paranko, I.S., Rosihina, A.I., Lavrenko, E.I. (1983). Formation type of conglomerates southern circuit Krivorozhskaya syncline. In *Study of the carbonaceous and conglomerate formations within the Krivoy Rog-Kremenchug area: report*. Lviv. [in Russian].

Надійшла до редколегії 22.10.15

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

PALEOGEOGRAPHIC FEATURES OF SKELEVATSKA SUITE METACONGLOMERATES OF KRIVOY ROG STRUCTURE

Paleogeographic reconstruction of skelevatka suite is carried out on the base on the following methods: comparison of the intensity coefficients of weathering and sedimentary differentiation by A. Predovsky, N. Strakhov's method – "Ideal profile", the ratio between elements-indicators and facial conditions of sedimentation – depositional environments. By using SAK method of V. Golovenko and making the comparison between chemical compositions of rocks of skelevatka suite and average clark abundance of rock-forming oxides in magmatic rocks the reconstruction of climatic conditions of sedimentation in the suite is made. The use of stratigraphic analysis allowed to identify the possible sources of clastic material and ways of its transportation.

The results of relation between the coefficients of intensity of weathering – W and sedimentary differentiation – d obtained for rocks of skelevatka suite are compared with similar ones obtained from the different types of zones of tectonic regime. They indicate the fact that stable tectonic regime on the border of two subsuite has changed by moderately activated one. The growing role of tectonic activity during the accumulation of sediments of the second subsuite is also proved by a low degree of maturity of the clay sediment and the increase of aluminosilicate module. The method by Strakhov shows that the content of most petrochemical units in the suite rises from psammites to pelites, maintaining the overall regularity typical of the "ideal profile", from the coastal to "pelagic" area. The distribution of petrochemical units in the "ideal profile" can be characterized as smooth, which is typical for alluvial-proluvial sedimentation in the coastal environment. This fact is also proved by the presence of the two peaks of maximum values of elements found in the conglomerates and shales. Similar results are obtained when using ratios of elements-indicators.

Reconstruction of climatic conditions indicates the formation of rocks of skelevatka suite in the conditions of hot and moisture climate, and also on the formation of sediments in the transition from continental to marginal-marine conditions.

On the basis of formational analysis identified the sources of clastic material. These sources were rocks occurred to the East from the basin of sedimentation, namely the rocks of Middle Dnieper complex. They include the rock association of greenstone structures represented by metamorphosed volcanic rocks of basic, intermediate and acid composition, terrigenous rocks and granitoids of the sursko-tokovskoe intrusive complex.

Keywords: paleogeography, metaconglomerates, skelevatskaya suite, paleotectonic mode, paleoclimatic 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 МЕТАКОНГЛОМЕРАТОВ СКЛЕВАТСКОЙ СВИТЫ КРИВОРОЖСКОЙ СТРУКТУРЫ

Палеогеографическая реконструкция скелеватской свиты проводится на основе следующих методов: сопоставление коэффициентов интенсивности выветривания и осадочной дифференциации А. Предовского, метод Н. Страхова – "идеальный профиль", отношение элементов-индикаторов и фациальные условия осадконакопления – условия осадконакопления. С помощью методики САК В. Головенки и на основе сравнения химических составов пород скелеватской свиты со средним кларковым составом породообразующих окислов в магматогенных породах проведена реконструкция климатических условий осадконакопления свиты. Использование формационного анализа позволило определить вероятные источники поступления обломочного материала и пути его транспортировки.

Приведены результаты сопоставления коэффициентов интенсивности выветривания (W) и осадочной дифференциации (d) пород скелеватской свиты с такими же различных типов тектонических режимов. Они указывают на то, что стабилизированный режим на границе двух подсвит изменился умеренно активизированным. Рост роли тектонической активизации в период накопления осадочного материала второй подсвит подтверждается также низкой степенью зрелости глинистого материала и увеличением алюмокремниевого модуля. Метод Страхова показывает, что содержание большинства петрохимических элементов свиты нарастает от псаммитов к пелитам, сохраняя в целом закономерность "идеального профиля", от прибрежной зоны до "пелагической". Распределение петрохимических элементов в "идеальном профиле" можно охарактеризовать как плавное, что типично для аллювиально-пролювиальных отложений, в прибрежных условиях, о чем свидетельствуют два пика максимальных значений элементов – в конгломератах и сланцах. Аналогичные результаты получены и при использовании соотношений элементов-индикаторов.

Реконструкция климатических условий, свидетельствует о формировании пород скелеватской свиты в условиях жаркого и влажного климата, и также о формировании осадков в переходных от континентальных к прибрежно-морским условиям.

На основе формационного анализа были выявлены источники поступления обломочного материала, которыми выступали породы, развитые на восток от бассейна осадконакопления, а именно, породы Среднеприднепровского комплекса, которые объединяют породы зеленокаменных структур, в строении которых принимают участие метаморфизованные вулканы основного, среднего и кислого состава, терригенные породы и гранитоиды сурско-токовского интрузивного комплекса.

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

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.34

Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.uaО. Грицай, асп.
E-mail: grycaj.oksana@gmail.comО. Обідіна, асп.
E-mail: jane.det@yandex.uaА. Павлова, канд. фіз.-мат. наук
Карпатське відділення
Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-6, м. Львів, 79060 Україна**ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВОГНИЩА ЗЕМЛЕТРУСУ В РАЙОНІ АЛЬБЕРТИ, КАНАДА
($\Phi = 58.16^\circ\text{N}$, $\Lambda = -115.25^\circ\text{E}$, $M_w=3.98$)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)*

Метою даної роботи є визначення механізму вогнища землетрусу, що відбувся в провінції Альберта (Канада) за допомогою графічного методу, а також уточнення глибини залягання вогнища методом кореляційного аналізу реальних та синтетичних сейсмограм. Для визначення механізмів вогнищ землетрусів у регіоні з малою сейсмічною активністю запропоновано графічний метод. Цей метод оснований на розподіленні полярності вступу повздовжніх Р-хвиль на зони стиску та розтягу, які розділені нодальними площинами. Важливими параметрами також є нечіткі вступу Р-хвиль на станціях та величина відношення амплітуд S- та Р-хвиль, які характеризують розміщення станції відносно нодальної площини. Для застосування графічного методу необхідно мати правильну швидкісну модель середовища та чіткі записи зі станцій. Представлено результати побудови механізмів вогнищ для події, що відбулась в регіоні зі слабою сейсмічною активністю провінції Альберта (Канада). Механізми вогнищ побудовано графічним методом для цієї події, використовуючи повні записи із станцій, що її зафіксували, та протоколи про ці записи для різних глибин залягання джерела. Проведено порівняльний аналіз реальних та синтетичних сейсмограм та визначено, що ця сейсмічна подія відбулась на глибині 6 км. Вперше визначено механізм вогнища землетрусу в провінції Альберта за допомогою графічного методу. За допомогою кореляційного аналізу між реальними та синтетичними записами, було уточнено глибину залягання землетрусу. Найбільший коефіцієнт кореляції між реальними записами та синтетичними сейсмограмами, побудованими для глибини залягання вогнища 6 км, що вказує на те, що авторами було визначено глибину залягання джерела землетрусу в цій роботі. Результати цієї роботи будуть використанні для подальшого вивчення сейсмічності Карпатського регіону, визначення механізмів вогнищ землетрусів та вивчення напружено-деформованого стану гірських порід у цьому регіоні.

Ключові слова: механізм вогнища, кореляційний аналіз, нодальна площина, глибина залягання вогнища землетрусу.

Вступ. Визначення механізмів вогнищ землетрусів є однією з головних задач сейсмології. Поряд із класичним визначенням механізму вогнищ, яке базується на полярності вступу повздовжніх хвиль [2-4], потрібно знайти нові методи до розв'язання задачі у випадку малої сейсмічності.

На основі вивчення наслідків Каліфорнійського землетрусу 1906 року, Рейд висунув теорію пружної віддачі. В 1923 році Нокано вперше описав закономірний розподіл знаків перших вступів сейсмічних хвиль на сейсмічних станціях, розташованих в різних напрямках від вогнища землетрусу і ввів поняття нодальних площин [2].

Район Альберти з сейсмічно малою активністю, та малою кількістю зареєстрованих землетрусів потребує вивчення. Між 1918 і серединою 1960-х років, філія федерального уряду, в той час відома як Землетруси Канади, записала менше десятка малих землетрусів у провінції Альберта. Моніторинг сейсмічної активності в регіоні почався в середині 60-х років з установкою декількох сейсмографів. До 1975 року зафіксовано менше 20 землетрусів щорічно. З 1977 року було помітне збільшення зареєстрованих подій. Альберта мало відома своїми землетрусами, і більшість людей може бути здивована, дізнавшись, що в провінції виникло 605 землетрусів між 1985 і 2011 роками. Хоча ці землетруси були дуже малі, це значна цифра в порівнянні з 41 зареєстрованими землетрусами у провінції Саскачеван протягом того ж періоду часу.

Велика кількість сейсмічних станцій має вирішальне значення для визначення фокального механізму. На рис. 1 показано мережу сейсмічних станцій в районі Альберти (Канада).

У 2006 році було встановлено шість автономних станцій CRANE (Canadian Rockies and Alberta Network) в центральній Альберті.

Визначення механізму вогнищ землетрусів. Поряд із класичним визначенням механізму вогнищ, яке ґрунтується на полярності вступів повздовжніх Р-хвиль [2-4], потрібно шукати нові підходи до розв'язання задачі у випадку малої сейсмічності. Нодальні площини – система двох ортогональних площин, які розділяють області стиску від областей розтягу в зоні вогнища землетрусу. Одна з нодальних площин асоціюється з площиною посувки [2].

Для визначення сімейства нодальних площин застосовують різноманітні методи:

- 1) Знаходження амплітуд Р-хвиль [9];
- 2) Знаходження механізму за тензором сейсмічного моменту, визначеного з інверсії хвильових форм трикомпонентних сейсмограм, що записані на локальних сейсмічних станціях [5];
- 3) Використання логарифма співвідношення амплітуди S-хвилі до амплітуди Р-хвилі [7, 14].

Названі методи мають свої переваги та недоліки. Правильність розв'язання задачі визначення механізму вогнища за будь-яким підходом залежить від точності визначення гіпоцентру та швидкісної моделі середовища. Однак існують й інші фактори, які потрібно враховувати при визначенні механізму вогнища. Наприклад, методи, що базуються на визначенні тензора сейсмічного моменту з використанням хвильових форм, вимагають інформацію про АЧХ приладів, які реєструють події та інформації про середовище під станцією. Використання даних щодо логарифма відношення амплітуди S-хвилі до амплітуди Р-хвилі не можна застосовувати для удосконалення розв'язку задачі визначення вже відомих механізмів, але це може допомогти у виборі найбільш коректного розв'язку, знайдених за полярністю вступу повздовжніх Р-хвиль [14].

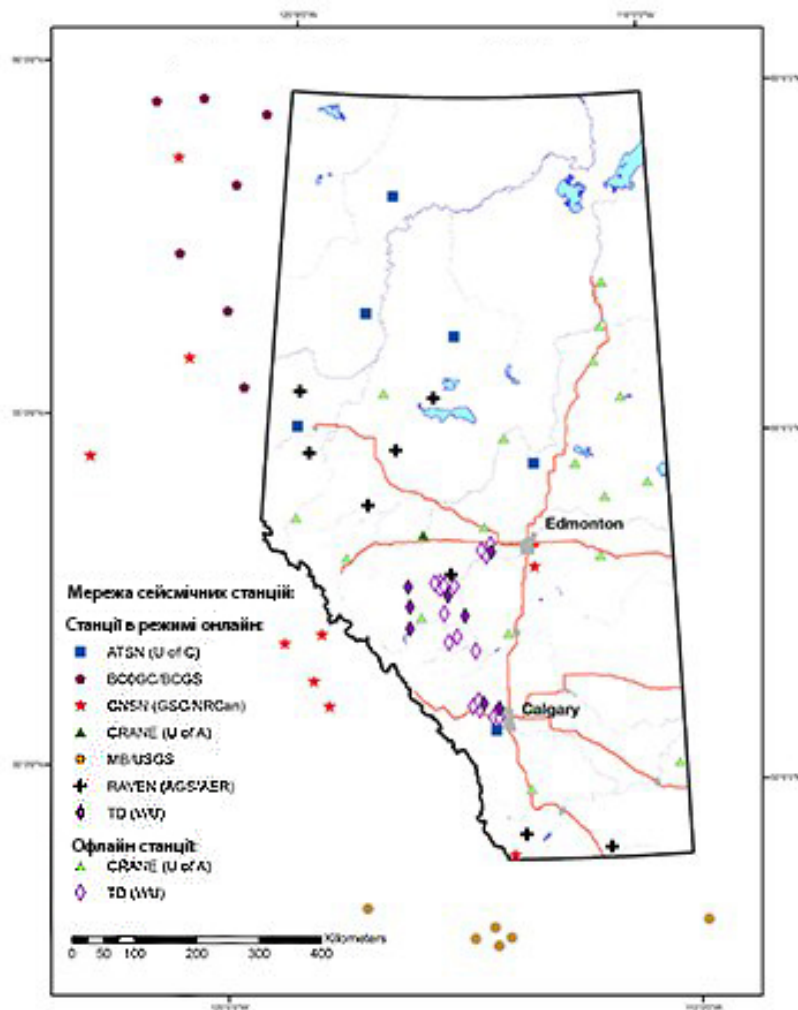


Рис. 1 Мережа сейсмічних станцій в районі Альберти (Канада)

У цій роботі визначення механізмів вогнищ запропоновано графічний метод [1], який використовує інформацію як про перші вступи Р-хвиль, так і про логарифм відношення амплітуди S-хвилі до амплітуди Р-хвилі.

Полярність вступу Р-хвилі, що випромінюється від джерела землетрусу і який спостерігають на вертикальній компоненті сейсмограми, може приймати два протилежні значення: "+" (рух частинок від джерела – стиск) і "-" (рух частинок до джерела – розтяг). Дані з усіх станцій щодо полярності першого імпульсу розміщені за азимутом довкола епіцентру за певною схемою. Їх умовно можна розділити на квадранти стиску і розтягу взаємно перпендикулярними прямими [2–4, 6]. Такий квадрантний розподіл і визначає діаграму напрямку випромінювання зсувної дислокації для Р-хвиль (рис. 2б). Діаграму напрямку найзручніше зображувати на фокальній сфері одиничного радіуса з центром в джерелі.

Розміщення точок на фокальній сфері визначають за кутом виходу променя, який відраховують від вертикалі і за азимут на станцію, який визначають від напрямку на північ до станції. Щоб показати фокальну сферу на площині, використовують її стереографічну проекцію [2–4, 6] (рис. 2в).

Отже, саме з проекції фокальної сфери і визначають параметри механізму вогнища тобто орієнтацію площини розриву, напрямку зсувів, орієнтацію головних осей (рис. 3) [2–4, 6, 8].

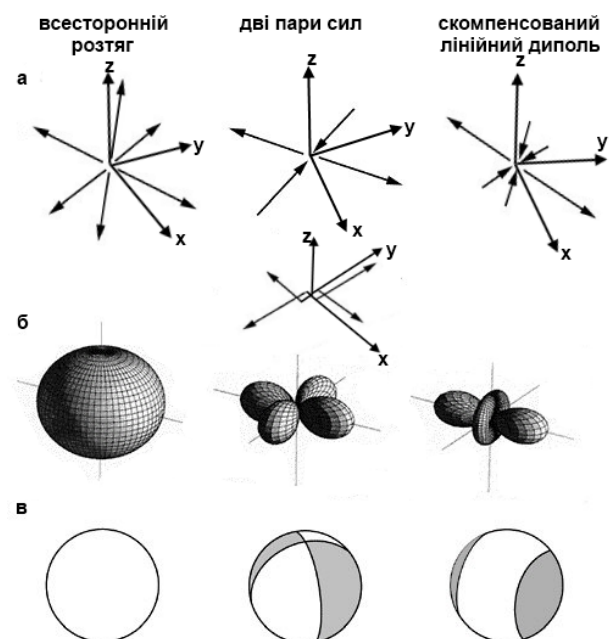


Рис. 2. Основні типи сил в точковому джерелі:
а – головні осі координат системи еквівалентних сил;
б – діаграми випромінювання;
в – двовимірні проекції фокальних сфер [11]

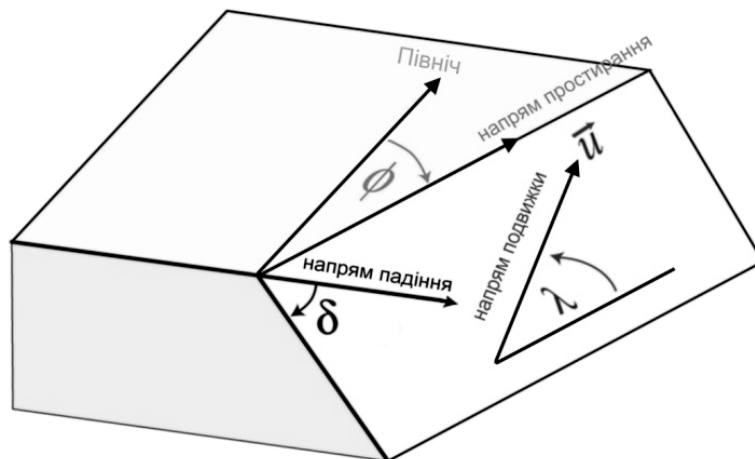


Рис. 3. Дислокаційна модель вогнища землетрусу

Точність визначення параметрів вогнищ залежить від кількості і якості вхідних даних: достатньої кількості станцій, які зафіксували подію; точності визначення епіцентральної відстані, глибини вогнища землетрусу, кутів виходу, що, в свою чергу, залежить від швидкісної моделі середовища; точності визначення знаку вступу Р-хвилі на вертикальній компоненті запису події. [16].

Щоб пояснити спостережуваний розподіл полярностей перших вступів сейсмічних хвиль за азимутом, запропоновано декілька теоретичних моделей вогнища з різними системами сил, що діють в точковому джерелі. Теорія випромінювання пружних хвиль точковим джерелом бере свій початок з XIX століття (теорія пружності Лява); в сейсмології основи теорії сейсмічних джерел заклав Накано в 1923 р. [15]. Основними типами точкових джерел є: направлена сила, диполі (подвійна сила) і центр розширення [13]. Останній тип практично не застосовано до тектонічних землетрусів, так як механізм процесу руйнування в джерелі представляється ковзанням в площині розриву (зсувна дислокація). Джерело типу подвійного диполя (комбінація двох диполів) з моментом або без моменту найкращим чином задовольняють спостережуваним даним. На рис. 2а показано різні типи сил в точковому джерелі:

δ – кут падіння;

ϕ_s – кут простягання;

λ – кут між напрямками зсуву і простягання.

Методика. Механізм вогнища землетрусу представляється сферою одиничного радіуса з центром у вогнищі землетрусу [10]. Враховуючи центральну симетрію прийнятої теоретичної картини випромінювання, при розрахунках використовують, як правило, половину фокальної сфери (верхню або нижню). Всі точки, що лежать на верхній або нижній півсфері, проектується на екваторіальну стереографічну проекцію градусної сітки кулі, яка проходить через її центр.

Крім нодальних площин механізм вогнища показує орієнтацію головних осей напружень розтягу (Т) і стиснення (Р), під дією яких і відбувається зсув. Оскільки механізм вогнища оцінюється ретроспективно, то вісь стиснення Р знаходиться в квадранті мінусів, а вісь розтягування Т – в квадранті плюсів [16]. Осі напружень характеризуються азимутом (AZ) і кутом їх занурення щодо горизонту (PL). Залежно від орієнтації осей напружень виділяється кілька режимів напруженого стану земної кори: при горизонтальному розтягуванні і вертикальному стисненні створюються умови розтягування, при горизонтальному положенні обох осей – умови зсуву, і при вертикальному розтягуванні і горизонтальному стисненні спостерігається режим стиснення. Очевидно, що в першому

випадку домінуючим типом зміщення будуть скиди, у другому зсуви і в останньому насуви [12].

Результати. У роботі визначено механізм вогнища для кожної події за певною схемою:

- визначення полярності вступу Р-хвилі із сейсмограм;

- обчислення азимута на станцію від напрямку на північ (ϕ) і кута виходу променя хвильового фронту з вогнища на станцію (i);

- нанесення на стереографічну сітку точок проєкцій променів стиску та розтягу, а також точок проєкцій нечітких вступів, якщо вони є. Від напрямку на північ уздовж кола відкладають азимут на станцію ϕ , від центру в напрямку позначки про азимут — кут виходу i . Якщо кут виходу більший за 90° (промінь виходить у верхню півплощину), то відкладають точку з азимутом, зміненим на 180° , і кутом виходу ($180^\circ - i$);

- визначення розміщення нодальних ліній відповідно до розподілу полярностей перших вступів (точки одної полярності мають лежати в одному квадранті), нечітких вступів (нодальні лінії мають проходити через точки нечітких вступів або близько до них), логарифма відношення амплітуд (малі значення всередині квадранта, більші – ближче до нодальних ліній);

- визначення із стереографічної проєкції орієнтації нодальних площин (простягання – Strike, падіння – Dip), напрямку зсуву – Slip, орієнтації осей стиску – Р, розтягу Т, нульової N (азимут – Az, заглиблення – Pl).

Для визначення механізму вогнища землетрусу в районі Альберта (Канада) використано дані з 13 сейсмічних станцій. На рис. 4. зображено Z-компоненти реальної та синтетичних сейсмограм для станції TD008, отриманих для різних глибин з урахуванням швидкісної моделі, наведеної в табл. 1.

Проведено порівняльний аналіз реальної та синтетичних сейсмограм. У табл. 2 наведено коефіцієнти кореляції між Z-компонентою сейсмограми зі станції TD008 та синтетичними сейсмограмами.

Можемо зробити висновок, що розглянута подія відбулась на глибині 6 км, оскільки саме для цієї глибини отриманий найвищий коефіцієнт кореляції між реальними записами та сейсмограмами.

На рис. 5 показано варіанти механізмів вогнищ, побудовані для різних глибин. Остаточний варіант механізму для події ($\phi = 58.16^\circ N$, $\lambda = 115.25^\circ E$, $M_w = 3.98$) зображено на рис. 5б.

Вперше визначено механізм вогнищ землетрусу в провінції Альберта за допомогою графічного методу. За допомогою кореляційного аналізу між реальними записами та синтетичними було уточнено глибину залягання землетрусу.

Таблиця 1

Швидкісна модель				
№	h, m	Vp, м/с	Vs, м/с	ρ , кг/м ³
1	2000	3200	1500	2280
2	4000	6310	3660	2790
3	5000	4680	2720	2300
4	10000	6310	3660	2790
5	15000	6500	3780	2850
6	20000	6580	3820	2870
7	25000	6750	3920	2930
8	30000	6780	3940	2940
9	35000	7000	4070	3010
10	40000	7100	4120	3040
11	45000	7280	4230	3100

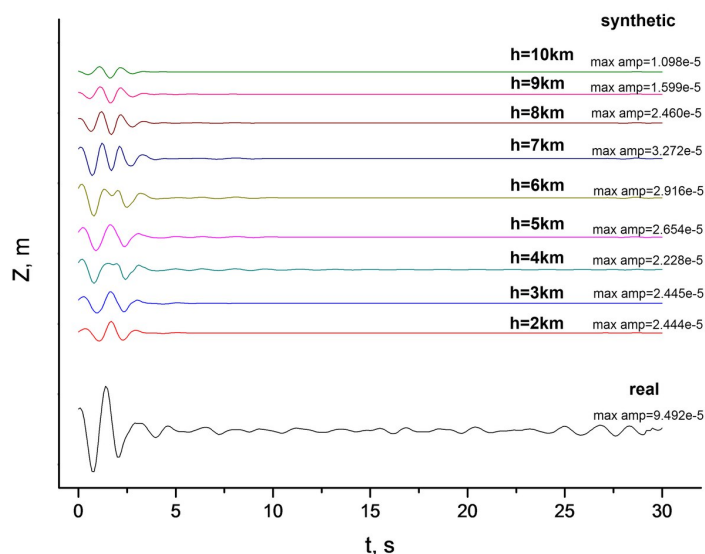


Рис. 4. Z-компоненти реальної та синтетичних сейсмограм, отриманих для різних глибин, для станції TD008, розташованої на епіцентральної відстані 75 км для події, що відбулась в районі Альберти, Канада ($\varphi = 58.16^\circ\text{N}$, $\lambda = -115.25^\circ\text{E}$, $M_w = 3.98$)

Таблиця 2

Кореляційний аналіз	
h, км	R
2	0.36448
3	0.52269
4	0.64516
5	0.58983
6	0.64918
7	0.40244
8	0.16760
9	0.14152
10	0.30950

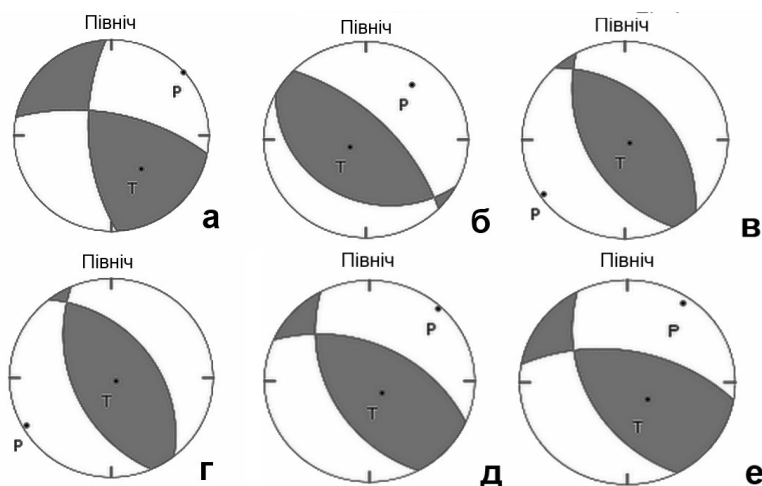


Рис. 5. Варіанти фокальних механізмів, отримані для різних глибин: а – 2, 3 та 4 км; б – 5, 6 км; в – 7 км; г – 8 км; д – 9 км; е – 10 км

Результати даної роботи будуть використанні для подальшого вивчення сейсмічності Карпатського регіону, визначення механізмів вогнищ землетрусів та вивчення напружено-деформованого стану гірських порід у цьому регіоні.

Висновки. Для побудови механізмів вогнищ при малій сейсмічній активності, яка притаманна регіону Альберти, Канада, є важлива велика кількість сейсмічних станцій, які реєструють подію, що збільшує точність і кількість вихідних даних. Завданням роботи було визначення механізму Канадського землетрусу в районі Альберти, знаходження джерела землетрусу порівнюючи механізми вогнищ на різних глибинах.

У роботі показано застосування графічного методу для визначення механізмів вогнища для різних глибин. Також було здійснено порівняльний аналіз реальних та синтетичних сейсмограм. Найвищий коефіцієнт кореляції між сейсмограмами є у випадку розташування джерела землетрусу на глибині 6 км. Отже, ми можемо стверджувати, що авторами визначено глибину, на якій відбулась подія. У наступних роботах аналогічні дослідження будуть проведені для сейсмічних подій Закарпаття.

Список використаних джерел

1. Визначення фокального механізму землетрусу в Закарпатті / Д. Малицький, О. Муйла, А. Павлова, О. Грицай // Вісник Київського університету. Геологія. – 2013. – С. 38-44.
2. Воронина Е. В. Механика очага землетрясения. Спецкурс / Е. В. Воронина – М.: Изд. Физ. фак-та МГУ, 2004. – 92 с.
3. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
4. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений / Л. М. Балакина, А. В. Введенская, Н. В. Голубева и др. – М.: Наука, 1972. – 198 с.
5. Adamova P. Problematic non-double-couple mechanism of the 2002 Amfilochia Mw5 earthquake / P. Adamova, E. Sokos, J. Zahradnik // Western Greece. J. Seismol. – 2009. – № 13. – P. 1-12.
6. Aki K. Quantitative Seismology, 2nd edn. / K. Aki, P. G. Richards. – Sausalito, California: University Science books, 2002. – 520 p.
7. Baumbach M. New Manual of Seismological Observatory Practice. Determination of source parameters from seismic spectra. / M. Baumbach, P. Bormann. – Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2011.
8. Cronin V. S. Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists / V. S. Cronin. [Electronic resource] – Режим доступу : http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal_mechanism_primer.pdf.
9. Ebel J. E., Bonjer K. P. Moment tensor inversion of small earthquakes in southwestern Germany for the fault plane solution / J. E. Ebel, K. P. Bonjer // Geophys. J. Int. – 1990. – № 101. – P. 133-146.
10. Focal mechanisms of micro-earthquakes in the Dobra Voda seismoactive area in the Male Karpaty Mts. (Little Carpathians), Slovakia / L. Fojtikova, V. Vavryuk, A. Cipciar, J. Madaras // Tectonophysics. – 2010. – Vol. 492. – P. 213-229.
11. Julian B. R. Non-double-couple earthquakes: 1. Theory / B. R. Julian, A. D. Miller, G. R. Foulger // Rev. Geophys. – 1998. – Vol. 36. – P. 525-549.
12. Madariaga R. Dynamics of an expanding circular fault / R. Madariaga // Bull. Seism. Soc. Am. – 1976. – Vol. 66. – P. 639-667.
13. Maruyama T. On two-dimensional elastic dislocations in an infinite and semi-infinite medium / T. Maruyama // Bull. Earthq. Res. Inst. – 1966. – Vol. 44. – P. 811-871.
14. Hardebeck J. L. Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes / J. L. Hardebeck, P. M. Shearer // Bull. Seism. Soc. Am. – 2003. – Vol. 93. – № 6. – P. 2434-2444.
15. Nakano H. Notes on the nature of the forces which give rise to the earthquake motions / H. Nakano // Seism. Bull. Centr. Metrol. Observ. of Japan. – 1923. – Vol. 1. – P. 92-120.
16. Pavlova A. Ways of Determining the Focal Mechanisms in the Carpathian Region of Ukraine / A. Pavlova, O. Hrytsai, D. Malytsky // Journal of Earth Science and Engineering. – 2014. – Vol. 4, № 1. – P. 54-71.

References

1. Malytsky, D. Muyla, O. Pavlova, A. Grytsai, O. (2013). Determination of focal mechanism of the earthquake in Transcarpathia. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 4(63), 38-44. [in Ukrainian].
2. Voronina, E.V. (2004). *Mechanics earthquake: Special Course*. Moscow: Publishing House. Def. Faculty of Moscow State University. [in Russian].
3. Kasahara, K. (1985). *Mechanics earthquakes*. Moscow: Mir. [in Russian].
4. Balakina, L.M. Vvedenskaya, A., Golubev, N.L., Misharina, A., Shirokov, E.I. (1972). *Elastic stress field of the Earth and earthquake focal mechanisms*. Moscow: Science. [in Russian].
5. Adamova, P., Sokos, E., Zahradnik, J. (2009). Problematic non-double-couple mechanism of the 2002 Amfilochia Mw5 earthquake. *Western Greece. J. Seismol.*, 13, 1-12.
6. Aki, K., Richards, P.G. (2002). *Quantitative Seismology, 2nd edn*. Sausalito, California: University Science books.
7. Baumbach, M., Bormann, P. (2011). *New Manual of Seismological Observatory Practice. Determination of source parameters from seismic spectra*. Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
8. Cronin, V.S. Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists. Retrieved from http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal_mechanism_primer.pdf.
9. Ebel, J.E., Bonjer, K.P. (1990). Moment tensor inversion of small earthquakes in southwestern Germany for the fault plane solution. *Geophys. J. Int.*, 101, 133-146.
10. Fojtikova, L., Vavryuk, V., Cipciar, A., Madaras, J. (2010). Focal mechanisms of micro-earthquakes in the Dobra Voda seismoactive area in the Male Karpaty Mts. (Little Carpathians), Slovakia. *Tectonophysics*, 492, 213-229.
11. Julian, B.R., Miller, A.D., Foulger, G.R. (1998). Non-double-couple earthquakes: 1. Theory. *Rev. Geophys.*, 36, 525-549.
12. Madariaga, R. (1976). Dynamics of an expanding circular fault. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 639-667.
13. Maruyama, T. (1966). On two-dimensional elastic dislocations in an infinite and semi-infinite medium. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 811-871.
14. Hardebeck, J.L., Shearer, P.M. (2003). Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93(6), 2434-2444.
15. Nakano, H. (1923). Notes on the nature of the forces which give rise to the earthquake motions. *Seism. Bull. Centr. Metrol. Observ. of Japan.*, 1, 92-120.
16. Pavlova, A., Hrytsai, O., Malytsky, D. (2014). Ways of Determining the Focal Mechanisms in the Carpathian Region of Ukraine. *Journal of Earth Science and Engineering*, 4(1), 54-71.

Надійшла до редколегії 10.08.15

D. Malytsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.

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

O. Hrytsai, Postgraduate Student

E-mail: grycaj.oksana@gmail.com

O. Obidina, Postgraduate Student

E-mail: jane.det@yandex.ua

A. Pavlova, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

Carpathian Branch of

Subbotin Institute of Geophysics

National Academy of Sciences of Ukraine

3-b Naukova St., Lviv, Ukraine, 79060

DETERMINATION OF THE FOCAL MECHANISM OF EARTHQUAKE IN ALBERTA, CANADA

($\Phi = 58.16^\circ\text{N}$, $\Lambda = -115.25^\circ\text{E}$, $M_w = 3.98$)

The aim of this paper is to determine focal mechanism of earthquake occurred in Alberta (Canada) province by using graphic method and to clarify the focus depth by doing correlation analysis of real and artificial seismograms. The graphic method is proposed for determining the focal mechanism of earthquake in the region with low seismic activity. This method is based on P-waves polarity distribution into zones of compression and extension, and division of nodal planes. Fuzzy P-waves arrivals in the station and the value of the ratio of the S-wave amplitude to P-wave are important parameters. They define the relative location to the nodal plane. To use the graphical method the correct velocity model of the medium and clear records of the stations might be used.

The results of construction of focal mechanism in Alberta (Canada) as the the region with low seismic activity are discussed. The focal mechanisms were constructed by graphic method with using the complete records from the station and documents about these records for the different depth of the source occurrence. The comparative analysis of real and artificial seismograms is made. It is determined that seismic event occurred at a depth of 6 km.

For the first time the focal mechanism of the earthquake in Alberta is determined. The depth of the earthquake occurrence is specified by correlation analysis between the actual and artificial tracks (seismogram). The highest correlation coefficient is observed between real records and artificial seismograms calculated for the earthquake depth of 6 km, which indicates the depth of the earthquake source determined in this work. The results of this paper will be used for further study of Carpathian region seismicity, determination of the focal mechanisms of earthquake and analysis of stress-strain state of rocks in this region.

Keywords: focal mechanism, correlation analysis, nodal plane, the depth of earthquake source.

Д. Малицкий, д-р физ.-мат. наук, проф.

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

О. Грицай, асп.

E-mail: grycaj.oksana@gmail.com,

О. Обидина, асп.

E-mail: jane.det@yandex.ua

А. Павлова, канд. физ.-мат. наук

Карпатское отделение

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

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В РАЙОНЕ АЛЬБЕРТА, КАНАДА

($\Phi = 58.16^\circ\text{N}$, $\Lambda = -115.25^\circ\text{E}$, $M_w = 3.98$)

Целью данной работы является определение механизма очага землетрясения, произошедшего в провинции Альберта (Канада), с помощью графического метода, а также уточнение глубины залегания очага методом корреляционного анализа реальных и синтетических сейсмограмм. Для определения механизмов очагов землетрясений в регионе с малой сейсмической активностью предложен графический метод. Данный метод основан на распределении полярности вступления продольных Р-волн на зоны сжатия и растяжения, разделенные нодальными плоскостями. Важными параметрами также являются нечеткие вступления Р-волн на станциях и величина отношения амплитуд S- и Р-волн, характеризующие расположение станции относительно нодальной плоскости. Для применения графического метода необходимо иметь правильную скоростную модель среды и четкие записи со станций. Представлены результаты построения механизмов очагов для события, которое состоялось в регионе со слабой сейсмической активностью провинции Альберта (Канада). Механизмы очагов построены графическим методом, с использованием полных записей со станций, которые их зафиксировали, и протоколов об этих записях для различных глубин залегания источника. Проведен сравнительный анализ реальных и синтетических сейсмограмм и определено, что это сейсмическое событие произошло на глубине 6 км. Впервые определен механизм очага землетрясения в провинции Альберта с помощью графического метода. С помощью корреляционного анализа между реальными записями и синтетическими была уточнена глубина залегания землетрясения. Наибольший коэффициент корреляции наблюдается между реальными записями и синтетическими сейсмограммами, построенными для глубины залегания очага 6 км, что указывает на глубину залегания источника землетрясения. Результаты данной работы будут использованы для дальнейшего изучения сейсмичности Карпатского региона, определения механизмов очагов землетрясений и изучения напряженно-деформированного состояния горных пород в этом регионе.

Ключевые слова: механизм очага, корреляционный анализ, нодальная плоскость, глубина залегания очага землетрясения.

УДК 550.831 : 553.98

В. Омельченко, гол. геолог партії
Дніпропетровська геофізична експедиція "Дніпрогеофізика"
ДГП "Укргеофізика"
вул. Геофізична, 1, м. Дніпропетровськ, 49057, Україна
E-mail: dpge@ukr.net

П. Пігулевський, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: pigulev@ua.fm

Д. Дубров, асп.
E-mail: dmitrid1@gmail.com
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
пр. акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ГРАВІРОЗВІДКИ В КОМПЛЕКСІ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ ВИВЧЕННІ СОЛЯНОКУПОЛЬНИХ СТРУКТУР ДДЗ

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

У статті обґрунтовано доцільність використання гравірозвідки та шляхи підвищення її геологічної ефективності в комплексі геофізичних досліджень при вивченні структур соляного тектогенезу. Вивчення морфології соляних штоків та похованих соляних тіл, прогнозування приштокових нафтогазоперспективних об'єктів різного типу та структур облягання похованих соляних тіл завжди були актуальними задачами нафтогазової геології.

Викладені фізичні основи використання граві-, магніто- та електророзвідки з метою вивчення солянокупольних структур. Охарактеризовані різноманітні форми прояву в гравітаційному полі структур соляного тектогенезу на прикладі окремих соляних штоків і похованих соляних тіл (переважно це негативні аномалії високої або підвищеної інтенсивності ізометричної форми), відзначено формування ними як чітко виражених зон північно-західного, характерного для структур ДДЗ, простягання, так і протяжних лінеаментів субмеридіональної та північно-східної орієнтації, які зв'язуються із докембрійськими розломами фундаменту. Окреслені ділянки й зони Дніпровського грабену з різними формами прояву у гравітаційному полі солянокупольних структур, що обумовлено особливостями їх геологічної будови.

Наведені основні геологічні результати вивчення морфології крупного Чутівсько-Розпашнівсько-Белухівського та Анд-рїївського соляних штоків, які розташовані в центральній частині Дніпровського грабену, на основі об'ємного геоустинного моделювання. Звернута увага, що в разі використання даних гравірозвідки можливо було б уникнути буріння пошукових свердловин, які не вийшли із штокової солі.

Пропонуються шляхи підвищення геологічної ефективності гравіметричних досліджень при вивченні структур соляного тектогенезу, до головних із яких відносяться: використання ефективних і технологічних програм при об'ємному геоустинному моделюванні, детальне вивчення геоустинного розрізу, проведення детальних зйомок М 1:10 000, комплексування із іншими геофізичними методами для побудови узгоджених моделей.

Ключові слова: гравірозвідка, Дніпровсько-Донецька западина, соляні структури.

Вступ. Солянокупольні структури посідають серед нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) одне із чільних місць. Так, до приштокових блоків і похованих криптодіапірових структур приурочені відомі великі родовища вуглеводнів (ВВ) – Новоукраїнське, Чутівське, Новогригорівське, Перещепинське та інші. Тому виявлення і вивчення таких структур є одним із важливих напрямків нафтогазоперспективних досліджень. При підготовці до пошукового буріння перспективних об'єктів, приурочених до солянокупольних структур, із геофізичних методів використовується переважно сейморозвідка. Однак, в приштокових зонах, які характеризуються крутим заляганням шарів та інтенсивною порушеністю, сейморозвідка не працює, через втрату кореляції відбиттів. Тому пошукові свердловини часто закладаються в неоптимальних умовах або потрапляють в штокову сіль.

Ми вбачаємо якісно новий підхід при пошуках і вивченні цих об'єктів в комплексуванні різних геофізичних методів на сучасному рівні зі створенням узгодженої по всім фізичним полям геологічної моделі солянокупольної структури з прогнозом продуктивності виявлених нафтогазоперспективних об'єктів за специфічними геофізичними ознаками. Це дозволить проводити пошуково-розвідувальне буріння на більш надійній геофізичній основі і скоротити кількість свердловин, що не вийшли із штокової солі, а також непродуктивних.

За багаторічним досвідом роботи Дніпропетровської геофізичної експедиції (ДГЕ) "Дніпрогеофізика" в ДДЗ раціональний геофізичний комплекс для вивчення морфології соляних штоків і похованих тіл, виділення приштокових нафтогазоперспективних об'єктів та прогнозу їх продуктивності повинен включати три основні геофізичні методи:

- сейморозвідку МСГТ;

- електророзвідку в модифікаціях ЗС (ЧЗ-ВП) або МТЗ (КМТЗ);

- гравірозвідку (геоустинне об'ємне моделювання на основі зйомок М 1:25000).

При вивченні неглибоко залягаючих, особливо "безкозиркових" соляних штоків у комплекс доцільно включати магніторозвідку як додатковий метод. При цьому слід відзначити, що при польових площових або профільних гравімагнітних дослідженнях витрати на магніторозвідку складають 10% від загальної вартості робіт (70% – топороботи, 20% – гравірозвідка).

Фізичні основи методів. Всі запропоновані методи мають чітку фізичну основу для їх використання [4-6]. Так, велика різниця аномальної густини карбонатно-теригенних порід і кам'яної солі, яка досягає 0,50 г/см³, та значні розміри штоків створюють сприятливі умови для вивчення їх морфології з допомогою гравірозвідки. Однак, наявність значної кількості геоустинних границь в осадовій товщі та часто відсутність достовірних даних про їх морфологію і аномальну густину ускладнюють вирішення задачі без притягнення додаткової геолого-геофізичної інформації. Найбільш прийнятливим і достовірним в умовах ДДЗ, що свідчить з досвіду робіт по цій проблемі, є спосіб підбору геоустинної моделі середовища в тривимірному варіанті.

Зважаючи на складну форму штоків і необхідності виділення навіть дрібних деталей їх будови, геоустинне моделювання слід виконувати в масштабі 1:25000. Основою для нього, як свідчить досвід проведення таких робіт, повинно бути спостережене гравітаційне поле, отримане за даними зйомок не дрібніше масштабу 1:25000, при точності визначення аномалій Буге не нижче $\pm 0,06$ мГал. Для впевненого прогнозування будови приштокової підкозиркової зони, розділу гравітаційних ефектів від близькорозташованих

штоків, та в деяких інших випадках необхідно проведення високоточних ($\varepsilon \leq \pm 0,04$ мГал) зйомок м-бу 1:10000 по сітці спостережень не рідше 100x100 м.

Шток девонської солі проявляється в розрізі як значна геоелектрична неоднорідність. Опір сухої солі досягає 1000 і більше Ом·м. Різкий контраст фізичних властивостей соляного тіла і вмісних теригенних порід є передумовою використання електророзвідки для вивчення його морфології. Аналіз результатів електророзвідки свідчить про хорошу геологічну ефективність цього методу при вивченні будови соляних штоків. Електророзвідувальні дослідження методами ЗС (ЧЗ-ВГП) і МТЗ, а на ділянках з високим рівнем промислових завад в модифікації КМТЗ, доцільно проводити по окремих профілях, поєднаних із сейсмічними. Крок спостережень повинен бути не більшим 500–700 м, а в приштокових зонах 200–250 м. Використання сучасних електророзвідувальних станцій (ЛЕМАД-404; модульна станція SSMT та ін.) дозволяє реєструвати магнітотелуричне поле в широкому діапазоні частот, в тому числі і варіації з періодами 0,1–10 с, що дозволяє в сприятливих умовах вивчати геологічну будову і верхньої частини розрізу. Кількісна інтерпретація матеріалів електророзвідки дозволяє визначити контур соляного тіла на різних рівнях розрізу, глибини залягання приштокових припіднятих шарів, їх питомий опір та інші геоелектричні характеристики.

Магнітні властивості порід, що розвинуті в соляних діпаірах, змінюються в досить широких межах. Кам'яна сіль, яка складає 90–97% об'єму штоків, є діаманітні. Її магнітна сприйнятливості становить $2\text{--}10 \times 10^{-5}$ од. СІ. Теригенні породи девону, які часто присутні в тілах штоків, мають магнітну сприйнятливості $10\text{--}50 \times 10^{-5}$ од. СІ. Високі значення магнітних характеристик мають діабазы, базальти та інші ефузивні породи, що зустрічаються в товщі солі, брекчіях і кепроках соляних діпаірів (χ до десятків тисяч $\times 10^{-5}$ од. СІ). Магнітні властивості кепроків і брекчій визначаються, головним чином, вмістом магнітоактивних ефузивних порід, і залежать від типу цементу та гідротермальної обробки порід з привнесом феромагнітних мінералів. Таким чином, на ділянках розвитку неглибоко залягаючих соляних штоків до центральних частин соляних тіл будуть приурочені локальні магнітні мінімуми. До приштокових зон та кепроків, у разі якщо останні вміщують певну кількість уламків девонських ефузивів, будуть приурочені магнітні максимуми підвищеної інтенсивності. Але, зважаючи на невелику інтенсивність і розміри аномалій від відзначених об'єктів, для їх впевненого виявлення необхідно проведення високоточних детальних магнітних зйомок М 1:25 000–1:10 000.

Прояв структур соляного тектогенезу в гравітаційному полі. Значна кількість крупних позитивних структур Дніпровського грабену є криптодіапіровими (містять соляне ядро) або ж вони перфоровані девонською сіллю з утворенням соляних штоків. Певна кількість останніх розвинута і в межах прогинів та монокліналей, де вони контролюються крупними розломами різного рангу. В гравітаційному полі переважає більшість соляних штоків та похованих тіл виражена негативними, в більшості випадків високоінтенсивними різкоградієнтними аномаліями ізометричної форми, адже густина солі суттєво менша за густину вмісних карбонатно-теригенних порід. Прояв структур соляного тектогенезу у гравітаційному полі розглянемо на прикладі південно-східної частини Дніпровського грабену, де вони є інтенсивними і різноманітними.

Тут на ділянці від Солохівської до Волвенківської структур в гравітаційному полі за концентрацією харак-

терних негативних аномалій чітко виділяються три головні зони розвитку інтенсивного соляного тектогенезу (штоки, соляні лінзи з різним рівнем залягання солі). Це північна прибортова зона – від Качанівської структури до Валківської западини; центральна зона, яка протягується далеко як на захід, так і на схід за межі відзначеної ділянки; південна прибортова зона – від Сагайдацької до Богатойської структур. Чітко простежуються східні границі прибортових ділянок розвитку соляного тектогенезу. Для південної – це Оріхівсько-Павлоградська шовна зона УЩ, яка виражена в гравітаційному і магнітному полях зоною інтенсивних локальних максимумів субмеридіонального напрямку. Для північної – це східний борт Валківської западини, який контролюється крупним субмеридіональним розломом (Західно-Харківський). Далі на схід в межах північної прибортової зони соляний тектогенез розвинутий лише локально в межах Шевченківської западини.

Структури соляного тектогенезу в більшості випадків утворюють чітко виражені зони північно-західного і субширотного простягання. Особливо яскраво це проявлено в центральній зоні грабену, де вони утворюють відомі вали – Солохівсько-Диканський, Чутівсько-Олексіївський, Соснівсько-Біляївський. Також, крім зазначеного, соляні штоки і масивикладаються в досить чіткі зони субмеридіональної і північно-східної орієнтації, що іноді перетинають територію всього Дніпровського грабену. До найбільш крупних і чітко виражених можливо віднести такі тектонічні лінеamenti: східний борт Качанівської западини – Будищанський шток – Олешівський шток – Полтавський шток – Малоперещепинський шток – Ігнатівський соляний масив – Західно-Михайлівський соляний масив, Нововодолазький шток – Токарівський шток – Старовіровський шток – Ведмедівський шток – Сосновський шток – Кобзівський соляний масив – Мажарівський соляний масив – Південно-Перещепинський шток, Рябухівський шток – Парасковіївський шток – Західно-Єфреміївський шток – Павлівський шток – Орільський виступ. Ці лінеamenti простежуються і на бортах западини. Вони, безумовно, пов'язані з древніми розломами архейського закладення, які омолоджувались на етапах закладення і розвитку ДДЗ.

Інтенсивність гравітаційних мінімумів від штоків залежить в першу чергу від об'єму соляних мас і глибини залягання їх поверхні. Форма аномалії визначається формою соляного штоку. Безкозиркові соляні штоки з високим рівнем підйому солі (до 200–400 м), які ускладнюють будову крупних позитивних структур, проявлені в гравітаційному полі найбільш яскраво – різкоградієнтними високоінтенсивними мінімумами на фоні крупних інтенсивних максимумів від позитивних структур. Прикладом такого штоку може бути Біляївський, який ускладнює Біляївське підняття, розділяючи його на Західно- і Східно-Біляївське. Шток виражений інтенсивним різкоградієнтним ізометричної форми мінімумом (глибина залягання поверхні солі досягає в апікальній частині штоку вище -100 м), а задані підняття – локальними складно побудованими максимумами (рис. 1). Подібна форма прояву характерна для багатьох штоків східної частини грабену та Бахмутської улоговини, зокрема для Павлівського, Миронівського, Східно-Олексіївського, Степківського, Картамиського, Берецького, Новодмитрівського.

Соляні штоки, які мають суттєвих розмірів козирки ("шляпу"), як правило, відображені ізометричними мінімумами з максимальним градієнтом поля в центральній частині (де розвинута ніжка). В порівнянні з безкозирковими штоками ці аномалії мають значно більші розміри в плані. Найбільш широко козиркові штоки розви-

нуті в межах західних частин Чутівсько-Олексіївського і Соснівсько-Біляївського валів та Полтавської мульди

(Чутівсько-Розпашнівський, Ведмедівський, Єфремівський, Селещинський, Полтавський, Олєпирівський та ін.).

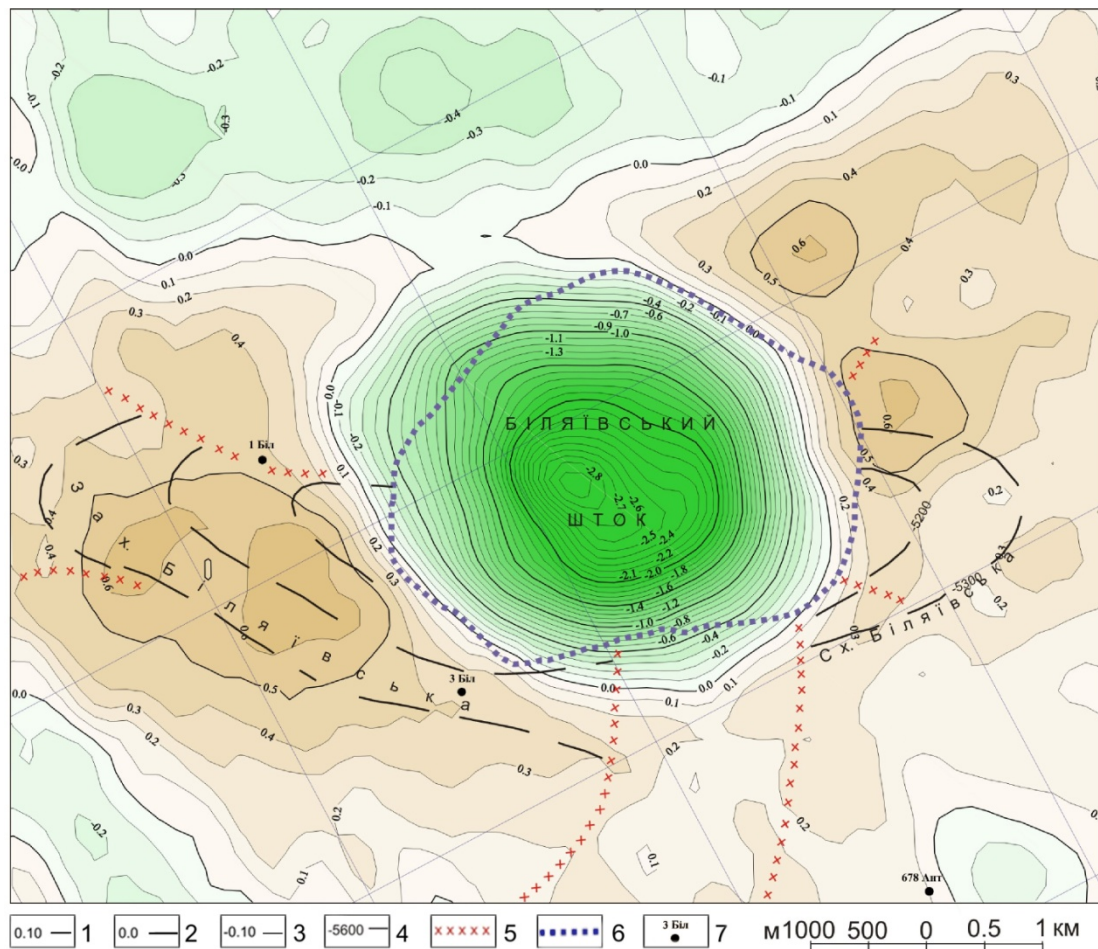


Рис. 1. Прояв у гравітаційному полі безкозиркових штоків з передтріасовим рівнем залягання солі, які перфорують крупні позитивні структури (на прикладі Біляївського штоку):

Ізолінії локальних аномалій гравітаційного поля за даними зйомок М 1:10 000 (у мГал): 1 – позитивні, 2 – нульова, 3 – негативні, 4 – ізогіпси відбивального горизонту V_{b2} (C_{2b}), 5 – розривні порушення за даними сейсмозвідки, 6 – контур Біляївського штоку на рівні відбивального горизонту V_{b2} (C_{2b}), 7 – свердловини глибокого буріння

Специфічний прояв в гравітаційному полі мають штоки з високим рівнем прориву солі (передчетвертинний, передпалеогеновий), в яких зазвичай розвинуті потужний кепрок або воронки вилугування, заповнені теригенними відкладами. В цих випадках негативна аномалія від соляних мас ускладнена в центральній частині різко-градієнтним локальним максимумом, який обумовлений переважно тим, що на рівні крейдових відкладів густина останніх ($2,08\text{--}2,12\text{ г/см}^3$) менша, ніж густина штокової солі ($2,18\text{--}2,23\text{ г/см}^3$). Така форма аномалії характерна для штоків прибортових зон розвитку соляного тектогенезу, особливо північної – Синівський, Колонтаївський, Карайкозівський, Валківський штоки (рис. 2).

У південній прибортовій зоні грабену розвинуті безкозиркові штоки незначних розмірів з передчетвертинним рівнем залягання солі. В гравітаційному полі штоки такого типу відображені інтенсивними різкоградієнтними локальними максимумами невеликих розмірів ізометричної форми на фоні великих негативних аномалій від соляних лінз (подушок). Прикладом таких штоків є Оріховщинський, Солоницький, Заорський, Гасенківський, Лейківський.

Деякі штоки відображені в гравітаційному полі малоінтенсивними локальними мінімумами, зокрема, Бакейський, Будищанський, Рябухінський, Тимченківський та деякі інші. Це обумовлено незначними об'ємами соляних мас в цих об'єктах та компенсуючим впливом пози-

тивних структур на мезозойському рівні. Імовірно, що частина з них є "безкорневими" – канал, по якому рухались соляні маси, закрився внаслідок стискуючих тектонічних рухів.

Більш складно і різноманітно проявлені в гравітаційному полі соляні лінзи (масиви), що залягають в ядрах позитивних структур. Залежно від співвідношення об'єму соляних мас, глибини залягання їх поверхні та величини компенсуючого впливу перекриваючих антиклінальних структур, вони проявляються як позитивними, так і негативними, як правило, складнопобудованими аномаліями різної інтенсивності. Спостерігається певна закономірність в розташуванні таких структур з однотипною формою прояву. Так, крупні антиклінальні структури з соляними ядрами в центральній зоні грабену виражені, як правило, позитивними аномаліями, інтенсивність яких зменшена негативним ефектом від солі. Причому, ступінь зменшення інтенсивності цих позитивних аномалій нарощується в західному напрямку. Прикладом таких структур є Солохівська, Опішнянська, Матвіївська, Котелівсько-Березівська, Коломацька, Кочубеївська, Мар'янівська, Західно-Соснівська, Східно-Ведмедівська, Єфремівська антиклінали. Позитивна аномалія від крупного Шебелинського підняття ускладнена локальним мінімумом від соляної лінзи з передверхньосерпуківським рівнем залягання поверхні солі в ядрі структури.

ного ще в 70-х роках з використанням програмного забезпечення того часу, з послідовними даними буріння (на прикладі Хрещищенського штоку) дозволяють оцінити точність визначення субвертикальних границь соляних тіл з вмісними породами на глибинах 2–4 км від ± 100 м до ± 250 м. Точність визначення глибини залягання субгоризонтальних (похилих) границь (підшва, поверхня соляних мас) складала для глибини 2–3 км – ± 225 м; 3–4 км – ± 500 м; 4–5 км – ± 700 м.

Результати об'ємного геогустинного моделювання по деяких соляних структурах вказують на наявність значного числа перспективних в нафтогазозноному відношенні приштокових та міжштокових об'єктів, значно рідше – запечатаних в тілах штоків теригенних блоків. Так, наприклад, у підкозирковій частині крупного Чутівсько-Розпашнівсько-Белухівського штоку на рівні відкладів C_3-C_2m виділяються ніжки (канали руху соляних мас) чотирьох штоків – Чутівського, Північно-Розпашнівського, Південно-Розпашнівського і Белухівського (останні складають єдине соляне тіло). Вони витягнуті, головним чином, в субширотному напрямку і, найімовірніше, являють собою порожнини розломів, по яких закладався Чутівсько-Розпашнівсько-Белухівський шток. Між ними прогноуються два вузькі (1,5–2,0 км) теригенні блоки, поверхня яких в центральній частині штоку залягає на глибині 4–6 км (що доступно для буріння). В разі підтвердження наявності цих блоків, вони могли би бути високоперспективними об'єктами в нафтогазозноному відношенні. Про можливу присутність в тілі Чутівсько-Розпашнівсько-Белухівського штоку запечатаних теригенних блоків свідчать і дані електро- та сейсморозвідки. Так, у районі Розпашнівської площі виділена зона наявності відбивальних площадок, яка в певній мірі корелює з теригенним міжштоковим блоком, виділеним за даними гравірозвідки.

При інтерпретації матеріалів гравіметричної зйомки масштабу 1:50 000 для вивчення морфології Андріївського штоку ще в 1981 р. проведено геогустинне моделювання в об'ємному варіанті. Воно виконувалось по такій схемі. На першому етапі був розрахований в площовому варіанті гравітаційний ефект від верхніх геогустинних границь, які розташовані в мезозойських відкла-

дах і приурочені до відбивальних горизонтів Іб (покривля K_2st), ІІб (підшва I_{3ox}) і ІVб (підшва Т). Розрахунок прямого гравітаційного ефекту від цих границь проводився по програмі "DIP" у вузлах квадратної сітки 800×800 м з наступною інтерполяцією до сітки 400×400 м. На другому етапі був розрахований прямий ефект від близькорозташованих гравіактивних тіл – Малоперещепинського, Старосанжарського, Новосанжарського та інших соляних штоків з використанням програми "PIRAMIDA". Ці ефекти були виключені із спостереженого гравітаційного поля. Підбір форми Андріївського штоку проводився по програмі "PIRAMIDA" на ПЕВМ по різнищевому полю. Критерієм закінчення підбору слугувала гладкість залишкового поля.

За даними моделювання Андріївський соляний шток представляє собою стовпоподібне соляне тіло, яке має в плані еліпсоподібну форму і характеризується північно-західним простяганням. Поверхня солі залягає на глибинах 1700–1900 м. У верхній частині штоку розвинута неглибока воронка вилуговування, що привело до збільшення потужності тріасових відкладів. Прогноуються наявність досить потужного кепроку (до 200 м). Ніжка штоку на рівні глибин 4–6 км має форму еліпса розміром $3,5 \times 2,5$ км. Шток характеризується асиметричною будовою. В північно-західній частині на рівні середнього і, частково, нижнього карбону розвинутий досить потужний карниз, який має розміри $2,5 \times 2,0$ км. З глибини 6–7 км (рівень відкладів $C_1v_1-C_1t$) прогноуються наявність соляної лінзи, з якої і відбувся прорив солі, очевидно, по розлому північно-західної орієнтації, з утворенням Андріївського штоку.

У 1986 р. сейсморозвідкою МСГТ у тілі Андріївського штоку виявлений серединний теригенний блок, в межах якого на рівні відбивального горизонту Vb_1 (C_1s) виділено Західно-Розумівське підняття. В 1992–1993 рр. у його апікальній частині пробурена пошукова свердловина Західно-Розумівська-9. На глибині 1692 м вона розкрила штокову сіль і при вибої 4610 м із неї не вийшла. Таким чином, вона не підтвердила сейсмічні побудови по наявності серединного теригенного блоку в тілі Андріївського штоку. Матеріали ж інших геофізичних методів, зокрема гравірозвідки, при закладенні св. 9 враховані не були (рис. 3).

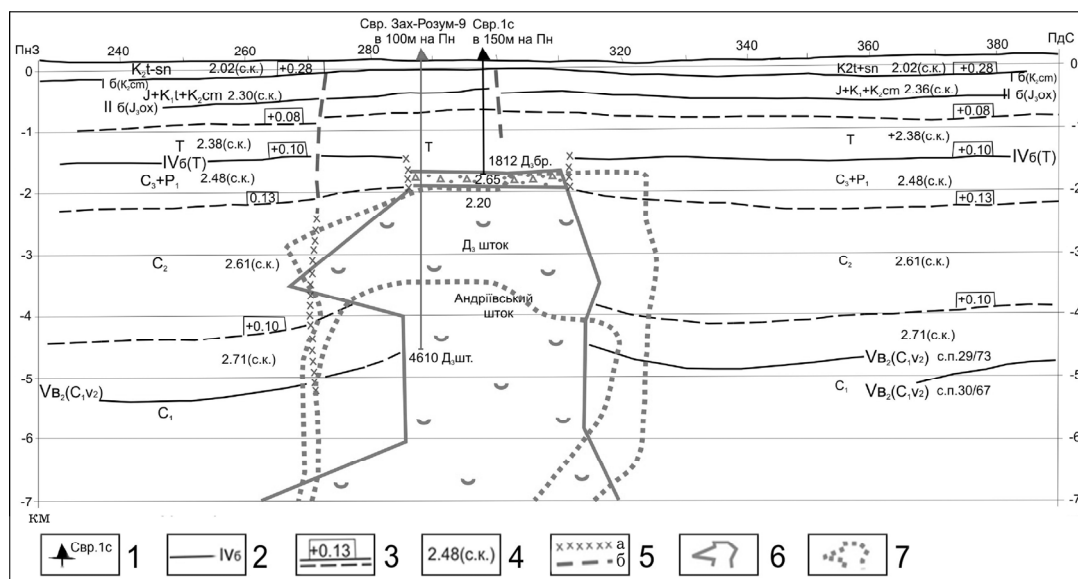


Рис. 3. Геогустинна модель Андріївського штоку по профілю І (19242986):

- 1 – свердловини, в тому числі, пробурені після виконання робіт, 2 – відбивальні горизонти, 3 – відбивальні горизонти або стратиграфічні границі, до яких приурочені геогустинні границі, та ефективна густина на них, у $г/см^3$,
- 4 – середньозважена густина стратиграфічних комплексів, у $г/см^3$ (с.к. – за даними перерахування середньоінтервальних швидкостей сейсмічних хвиль у густину), 5 – розривні порушення (а – за даними сейсморозвідки, б – за геологічними даними),
- 6 – модель штоку за даними геогустинного моделювання, 7 – модель штоку за даними сейсморозвідки

Висновки. Досвід робіт при використанні гравірозвідки для вивчення структур соляного тектогенезу (соляні штоки, поховані тіла) з пошуковими цілями свідчить, що найбільш ефективним способом інтерпретації є підбір геогустинної моделі середовища в тривимірному варіанті в М 1:25000–1:50000. При цьому вихідне гравітаційне поле бажано мати на основі зйомок М 1:25000 і крупніше. Огляд фондових і опублікованих джерел показує, що спеціальні роботи, направлені на детальне вивчення морфології соляних штоків на основі об'ємного геогустинного моделювання, з 1990 року в ДДЗ не виконуються. В державних геофізичних підприємствах сьогодні відсутнє технологічне ефективне програмне забезпечення для об'ємного геогустинного моделювання соляних структур і комплексування гравірозвідки з іншими геофізичними методами, в першу чергу з сейсмо- та електророзвідкою.

На теперішній час є програмні комплекси автоматизованої інтерпретації даних: для потенціальних полів (GMT-Auto), призначеного для розв'язання прямих задач гравіметрії, магнітометрії і геотермії для тривимірних неоднорідних шарів з візуалізацією тривимірних геофізичних моделей та їх полів [1]; для визначення оптимальних геогустинних параметрів просторових інтегральних геолого-геофізичних моделей глибинної будови за результатами кількісного узгодження цих параметрів з спостереженими геофізичними полями і апіорними геолого-геофізичними даними (GCIS) шляхом розв'язання просторових обернених задач [2].

Для підвищення геологічної ефективності гравімагнітних досліджень при вивченні структур соляного тектогенезу з пошуковими цілями головні зусилля необхідні зосередити на таких напрямках [3-6]:

1. Використання (впровадження у виробництво) сучасних ефективних, апробованих в умовах ДДЗ, технологій і програмного забезпечення для геогустинного моделювання (підбору геогустинної моделі середовища) в три- і двовимірному варіантах – як найбільш ефективного способу кількісної інтерпретації гравіметричних даних.

2. Детальне вивчення геогустинного розрізу як на основі узагальнення лабораторних визначень по зразках із керну, так і на основі перерахунків даних ГДС і сейсмокаротажу в щільність та щільнісного каротажу.

3. Проведення детальних гравімагнітних зйомок М 1:10 000 з точністю не нижче $\pm 0,06$ мГал і $\pm 3,0$ нТл, відповідно, в поєднанні з високоточними профільними дослідженнями (крок 50 м).

4. Комплексування з іншими геофізичними методами (базові – сейсмо-, електро- і гравірозвідка) в рамках єдиних проектів і побудова узгоджених за всіма фізичними полями геологічних моделей соляних структур.

Список використаних джерел

1. Комплекс программ автоматизированной интерпретации данных потенциальных полей (GMT-Auto) / В. И. Старостенко, О. В. Легостаева, И. Б. Макаренко, А. С. Савченко. // Геофизический журнал. – 2015. – № 31, Т. 37. – С. 42–52.
2. Методика и технологии эволюционного комплексного анализа геолого-геофизической информации / [А. И. Кобрунов, А. П. Петровский, Л. З. Аминов та ін.] // Актуальные научно-технические проблемы развития геолого-геофизических и поисковых работ на нефть и газ в Республике Коми: монография / [А. И. Кобрунов, А. П. Петровский, Л. З. Аминов та ін.]. – Ухта: КРО РАЕН, 2002. – С. 167.
3. Пигулевский П. И. Использование гравиразведки и магниторазведки при изучении соляных и рифогенных структур Днепровско-Донецкой впадины / П. И. Пигулевский, Л. П. Никиташ. // Литосфера. – 2014. – № 1(40). – С. 83–87.
4. Роль потенціальних полів при дослідженнях на нафту та газ в Дніпровсько-Донецької западині / С. В. Гошовський, В. В. Омельченко, П. Г. Пигулевський, В. Г. Шемет. // Сборник научных трудов по геоинформатике. – 2005. – № 12. – С. 57–62.
5. Свистун В. К. Шляхи підвищення геолого-економічної ефективності гравімагніто-електророзвідувальних досліджень на нафту та газ / В. К. Свистун, В. В. Омельченко, Т. В. Герасименко // Тези доповідей науково-практичної конференції "Нафтогазова геофізика – стан та перспективи", 25–29 травня 2009 р., м. Івано-Франківськ / В. К. Свистун, В. В. Омельченко, Т. В. Герасименко. – Івано-Франківськ, 2009. – С. 243–246.
6. Pigulevskiy P. On the role of potential field with oil and gas research in the Dnieper-Donetsk Depression (DDD) / P. Pigulevskiy, L. Nikitash, A. Stovas // Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology. – 2013. – № 4(63). – С. 25–29.

References

1. Starostenko, V.I., Legostaeva, O.V., Makarenko, I.B., Savchenko, A.S. (2015). Software package for computer-aided potential field data interpretation (GMT-Auto). *Geophysical journal*, 31(37), 42-52. [in Russian].
2. Kobrunov, A.I., Petrovskiy, A.P., Aminov, L.Z., Moiseenkova, S.V., Shilova, S.V. (2002). Methods and technology of integrated evolutionary analysis of geological and geophysical data. In *Relevant scientific and technical problems of geological and geophysical oil and gas researches development in Komi Republic: the monography*. (Vol. 3.) Ukhta: KRO RAEN. [in Russian].
3. Pigulevskiy, P.I., Nikitash, L.P. (2014). The usage of gravitational and magnetical prospecting during salt and reef structures exploration in Dnieper-Donetsk Depression. *Litosfera*, 1(40), 83-87. [in Russian].
4. Goshovskiy, S.V., Omelchenko, V.V., Pigulevskiy, P.G., Shemet, V.G. (2005). The role of potential fields for oil and gas prospecting in Dniepr-Donets Depression. *Collected works on geoinformatics*, 12, 57-62. [in Ukrainian].
5. Svistun, V.K., Omelchenko, V.V., Gerasimenko, T.V. (2009). Waysof geological and economical effectiveness improvement of gravitational and electrical prospecting for oil and gas. *Oil and gas geophysics – condition and outlooks: Abstracts of papers, Ivano-Frankivsk, May 25-29, 2009*. (pp. 243–246). Ivano-Frankivsk. [in Ukrainian].
6. Pigulevskiy, P., Nikitash, L., Stovas, A. (2013). On the role of potential field with oil and gas research in the Dnieper-Donetsk Depression (DDD). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(63), 25-29.

Надійшла до редколегії 12.05.15

V. Omelchenko, Chief Geologist
Dnepropetrovsk geophysical expedition "Dneprogeofizika"
1 Geofizicheskaya Str., Dnipropetrovsk, 49054 Ukraine
E-mail: dpge@ukr.net

P. Pigulevskiy, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher
E-mail: pigulev@ua.fm

D. Dubrov, Postgraduate Student
Subbotin Institute of Geophysics
National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladina Ave., Kyiv, 03680 Ukraine
E-mail: dmitrid1@gmail.com

APPLICATION OF GRAVITATIONAL PROSPECTING IN INTEGRATED COMPLEX GEOPHYSICAL METHODS FOR STUDYING SALT-DOME STRUCTURES OF DNEIPER-DONETS DEPRESSION

This paper discusses feasibility of gravity survey and ways to improve its geological effectiveness in integrated complex of geophysical investigations for studying salt-dome structures. Study of morphology of salt diapirs and buried salt structures, prediction of oil and gas potential in structural traps related to them are problems of great importance.

Physical basis of application of gravitational, magnetical, electrical prospecting for studying salt-dome structures are explained. Different forms of salt structures exposed in gravitational field are described by the examples of certain cases (mainly negative isometric anomalies of high and heightened intensity). Authors also marked a significant trend of structures to form groups, which are extended in north-west direction typical for Dnieper-Donets Depression (DDD), and also form lengthy lineaments of sub-meridional and north-east orientation, which are explained as their relation to ancient faults in Precambrian basement.

Main geological results obtained for morphology large Chutovsko-Rospashnovsko-Belouchovsky and Andreevsky salt diapirs, located in the central part of Dniepr graben, are based on volumetric density modeling. Authors would like to note that if gravitational method be used during the exploration process, it might be possible to avoid erroneous prospecting boreholes that have gone out of stock sal.

The ways for improvement of gravimetrical exploration at studyin salt tectogenesis are suggested. Among the main ways are application of effective technological programs for volumetric density modeling, detailed studying of density profiles, realization of high-precision large scale survey mapping (1:10 000) and integration with other geophysical methods for coherent models construction.

Keywords: gravimetric survey, Dnieper-Donets Depression, salt-dome structures.

В. Омельченко, главный геолог партии
Днепропетровская геофизическая экспедиция "Днепрогеофизика"
ул. Геофизическая, 1, г. Днепропетровск, 49054, Украина
E-mail: dpge@ukr.net

П. Пигулевский, д-р геол. наук, ст. науч. сотрудник
Институт геофизики НАН Украины
ул. Геофизическая, 1, г. Днепропетровск, 49054, Украина
E-mail: pigulev@ua.fm

Д. Дубров, асп.
dmitrid1@gmail.com,
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины
пр. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАВИРАЗВЕДКИ В КОМПЛЕКСЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОЛЯНОКУПОЛЬНЫХ СТРУКТУР ДДВ

В статье приведено обоснование целесообразности использования гравirazведки и путей повышения ее геологической эффективности в комплексе геофизических исследований при изучении структур соляного тектогенеза. Изучение морфологии соляных штоков и захороненных соляных тел, прогнозирование приштоковых нефтегазоперспективных объектов разного типа и структур облекания захороненных соляных тел является очень актуальной задачей нефтегазовой геологии.

Изложены физические основы использования грави-, магнито- и электроразведки с целью изучения солянокупольных структур. Охарактеризованы разные формы проявления в гравитационном поле структур соляного тектогенеза на примере отдельных соляных штоков и захороненных соляных тел (преимущественно это негативные аномалии высокой или повышенной интенсивности изометрической формы), отмечено формирования ими как четко выраженных зон северо-западного, характерного для структур ДДЗ, простирания, так и протяжных линейментов субмеридиональной и северо-восточной ориентировки, которые связываются с докембрийскими разломами фундамента. Выделены участки и зоны Днепровского грабена с разными формами проявления в гравитационном поле солянокупольных структур, которые обусловлены особенностями их геологического строения.

Приведены основные геологические результаты изучения морфологии крупного Чутовско-Розпашновско-Белуховского и Андреевского соляных штоков, которые расположены в центральной части Днепровского грабена, на основе объемного геоплотностного моделирования. Отмечено, что в случае использования данных гравirazведки можно было бы избежать бурения поисковых буровых скважин, которые не вышли из штоковой соли.

Предлагаются пути повышения геологической эффективности гравиметрических исследований при изучении структур соляного тектогенеза. К главным из них относятся: использование эффективных технологичных программ для объемного геоплотностного моделирования, детальное изучение геоплотностного разреза, проведение высокоточных съемок масштаба 1:10 000, комплексирование с другими геофизическими методами с целью построения согласованных моделей.

Ключевые слова: гравirazведка, Днепровско-Донецкая впадина, соляные структуры.

УДК 550.384+634.2

К. Бондар, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: ks_bondar@ukr.netІ. Цюпа, інж. І кат.
E-mail: tsyupa@ukr.netІ. Стахів, канд. геол. наук, інж.
E-mail: fatix@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна

ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛІВ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ ҐРУНТІВ УКРАЇНСЬКИХ МІСТ ТА ОЦІНКА РІВНІВ ЇХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

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

У роботі наводиться порівняльна характеристика ґрунтів з дванадцяти міст України та одного заповідника за низькочастотною магнітною сприйнятливістю (χ_{lf}) та її частотною залежністю (k_{fd}). Метою дослідження стало визначення інформативності вказаних магнітних параметрів для оцінки екологічного стану ґрунтів міст, що накопичують в собі дрібнодисперсні тверді частки з техногенних викидів. Показано, що магнітна сприйнятливість ґрунтів українських міст змінюється в широких межах від 2,3 до $7963,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, її розподіл у цілому відображає рівень техногенного навантаження на міське середовище. Частотна залежність магнітної сприйнятливості ґрунтів міст переважно має низькі значення (<6%), оскільки вони збагачуються відносно крупними зернами магнітних мінералів, що містяться у викидах автотранспорту та промисловості. Ґрунти забруднених міст мають переважно високі значення χ_{lf} та низькі значення k_{fd} . Для чистих ґрунтів справедлива обернена закономірність. Найбільш забрудненими слід визнати міста з розвиненою металургійною галуззю – Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг. До міст з найменшим техногенним тиском слід віднести Бориспіль, Очаків, Мелітополь.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, частотна залежність магнітної сприйнятливості, ґрунт, місто, техногенне забруднення.

Вступ. Постановка проблеми, її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Забруднення ґрунтів міських територій є довготривалим і небезпечним процесом, тому подальше погіршення ситуації викликає обґрунтовану тривогу, оскільки цим зумовлені численні екологічні, санітарно-гігієнічні та інші проблеми.

Одним з важливих показників екологічного стану ґрунтового покриву є магнітна сприйнятливість. На її величину впливають не тільки процеси природного ґрунтоутворення, а й результати антропогенної діяльності [4].

Для передбачення ризиків і наслідків для здоров'я населення в міських агломераціях важливим показником є вміст у повітрі та ґрунтах твердих пилових часток. Численні дослідження показують, що дрібні тверді частинки (ТЧ) атмосферного пилу стають причиною росту респіраторних та серцево-судинних захворювань [8]. Значний об'єм їх потрапляє в атмосферу внаслідок антропогенного забруднення (викиди автотранспорту, продукти спалювання нафти, вугілля, промислового спалювання). Природними джерелами ТЧ є спалювання біомаси (лісові пожежі) та вітрова ерозія (видування) ґрунтового покриву. Проведення довгострокових моніторингових досліджень впливу на здоров'я ТЧ шляхом прямих вимірювань їх концентрацій вимагає значних зусиль і витрат, а отже змушує шукати інших недорогих та ефективних методів, якими є методи магнетизму докілья. Як відомо, такі небезпечні екотоксиканти як важкі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні, які потрапляють до ґрунту з атмосфери, асоціюють з техногенними магнітними мінералами (переважно магнетитом та магемітом) у складі твердих частинок пилу [8, 9, 11]. Отже, техногенні тверді частинки здатні накопичуватись у ґрунтах і змінювати їх магнітні характеристики. Таким чином, загальну кількісну характеристику рівнів забруднення ґрунтів ТЧ можна отримати проаналізувавши їх магнітну сприйнятливість – показник концентрації магнітних мінералів.

Широке застосування магнітних методів у екологічних та епідеміологічних дослідженнях дає підстави сподіватись на їх високу ефективність при проведенні моніторингу стану докілья українських міст і населених пунктів.

Метою роботи стала порівняльна характеристика ґрунтів з 13 населених пунктів України за магнітною сприйнятливістю, вимірюваною на двох частотах (χ_{lf} і χ_{hf}), та її частотною залежністю (k_{fd}), а також виявлення основних факторів впливу, як природних так і техногенних. Зразки надані Центральною геофізичною обсерваторією ГСЧС, відібрані в пунктах моніторингової мережі для подальшого вивчення забруднення ґрунтів хімічними та біологічними компонентами.

Аналіз попередніх досліджень. Існує широке коло літературних джерел, у яких висвітлюються екологічні аспекти просторового розподілу магнітних характеристик ґрунтів промислових регіонів, цілих країн і окремих міст. В Україні екомагнітні дослідження ґрунтів проводилися в межах Київської міської агломерації, в околицях Маріуполя, Кривого Рогу, Комсомольська та ряді інших міст.

У роботі [12] показано, що χ ґрунтів є чутливим індикатором забрудненості компонентів навколишнього середовища Київської міської агломерації. Тісний зв'язок χ з k_{fd} ($r = -0,55$) свідчить про переважання техногенних процесів у нагромадженні оксидів заліза у ґрунтах міста [12]. Відмічається значуща кореляція магнітної сприйнятливості з вмістом Ni, Pb, Cu, Zn. У роботі [13] показано, що важливим джерелом магнітного забруднення в Києві виступають теплоелектростанції, навколо яких зафіксовані потужні ареали підвищених значень магнітної сприйнятливості ґрунтів і рослинності. Результати досліджень, висвітлені в статті [14], свідчать про спільний шлях кислотного та магнітного забруднення ґрунтів околиць Київської міської агломерації, яким є випадіння твердих та рідких осадів з атмосфери.

Дослідження магнітної структури ґрунтових профілів з промислово забруднених територій поблизу Маріуполя, Кривого Рогу та Комсомольська, показали, що підвищення низькочастотної магнітної сприйнятливості у поверхневому шарі ґрунтів спричинене крупнозернистим магнетитом техногенного походження [5, 7]. Відмінності магнітних параметрів забруднених ґрунтових профілів і чистих аналогів не обмежені одним шаром.

Промислове забруднення приймає глибину, сприяє утворенню магнетиту в суперпарамагнітному та однодоменному станах в глибоких шарах ґрунту.

Методика досліджень. Дослідження проведено на 547 зразках ґрунтів з міст України – Вінниці, Запоріжжя, Києва, Одеси, Кривого Рогу, Гуляйполя, Мелітополя, Ужгорода, Богуслава, Борисполя, Очакова, Маріуполя та заповідника "Асканія-Нова" (Херсонська обл.).

У лабораторних умовах виміряні низькочастотна (χ_{lf}) та високочастотна (χ_{hf}) магнітна сприйнятливості на приладі Bartington MS2 з датчиком MS2B Dual Frequency Sensor (Велика Британія). У випадках екстремально високих значень χ_{lf} виміряна на капамістку KLY-2 (Geofizyka, Чехія). Вимірювання виконані на насипних зразках, отже далі в роботі аналізуються питоми (нор-

мовані на насипну густину) параметри χ_{lf} та χ_{hf} відповідно. Частотна залежність магнітної сприйнятливості k_{fd} обрахована за формулою:

$$k_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} * 100\%,$$

Величина k_{fd} чутлива до вмісту дрібнодисперсних суперпарамагнітних часток (розмір <30 нм) [1], у чистих ґрунтах Лісостепу і Степу України вона складає 8...13%, [5], у техногенно забруднених аналогах $k_{fd} < 5\%$ [6].

Результати досліджень. Статистичні показники, що характеризують розподіл χ_{lf} , χ_{hf} та k_{fd} ґрунтів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Загальна статистика по магнітній сприйнятливості ґрунтів населених пунктів України

Місто	N_x	$\chi_{lf} (10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$				$\chi_{hf} (10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$				N_{fd}	$k_{fd} (\%)$			
		Медіана	Сер.	СКВ	min-max	Медіана	Сер.	СКВ	min-max		Медіана	Сер.	СКВ	min-max
Київ	55	29,6	37,6	34,9	10,4-209,4	28,6	36,5	33,7	9,2-201,1	37	3,3	4,5	3,3	0,7-14,1
Бориспіль	25	39,5	42,8	28,1	4,3-139,9	37,1	40,8	26,8	5,7-134,7	19	6,7	6,8	4,5	0,1-15,5
Маріуполь	30	1162,9	1863,4	1863,5	218,1-7963,3	1069,2	1573,6	1427,1	202,0-5849,8	29	1,7	1,7	0,5	0,6-2,9
Богуслав	18	37,9	54,4	41,8	2,3-168,3	39,1	52,6	39,6	2,7-161,5	14	3,2	5,2	5,0	0,1-16,1
Асканія Нова	11	80,1	53,1	40,5	8,3-94,3	68,9	47,2	34,6	5,9-84,9	6	13,4	13,3	3,4	9,6-17,4
Кривий Ріг	63	713,1	1340,7	1642,2	105,1-7471,8	690,0	1285,8	1579,5	99,3-7173,7	56	1,3	2,2	2,0	0,1-12,2
Запоріжжя	60	271,2	680	910,9	60,6-4086,5	263,3	652,9	875,1	57,3-3939,0	52	2,0	3,3	3,5	0,0-13,3
Одеса	98	149,7	170,8	89,7	43,6-636,5	143,0	163,4	85,8	40,6-605,3	89	4,0	4,3	2,6	0,1-10,6
Мелітополь	25	66,3	81,0	73,0	19,7-390,1	63,2	76,8	69,3	18,0-374,2	21	4,9	5,6	4,0	1,0-14,4
Гуляйполе	17	150,4	151,5	61,0	65,6-292,9	140,3	141,8	58,3	60,0-278,3	17	3,9	4,4	2,0	2,0-9,8
Вінниця	60	56,6	76,6	51,0	20,8-257,6	54,1	70,0	44,7	17,0-246,6	56	3,4	4,0	2,0	0,0-11,4
Ужгород	60	66,6	112,6	143,4	10,5-1088,5	66,2	106,9	134,5	10,8-1022,1	48	3,3	3,8	2,4	0,3-10,4
Очаків	25	59,9	62,1	15,2	41,1-101,4	55,0	59,1	16,7	36,4-97,9	24	6,5	6,7	2,5	2,2-11,0

N_x – кількість зразків, на яких визначено χ_{lf} та χ_{hf} ; N_{fd} – кількість зразків, на яких визначено k_{fd} ; 7963,3 – максимальне значення, виміряне на капамістку KLY-2 (Geofizyka)

Магнітна сприйнятливості. Магнітна сприйнятливості ґрунтів українських населених пунктів змінюється в широкому діапазоні (табл. 1, рис. 1).

Найменші середні та медіанні значення магнітної сприйнятливості ґрунтів маємо у Києві $29,6 / 28,6 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (χ_{lf} / χ_{hf} відповідно), Богуславі ($37,9 / 39,1 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та Борисполі ($39,5 / 37,1 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), найбільші – в Маріуполі ($1162,9 / 1069,2 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), Кривому Розі ($713,1 / 690,0 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та Запоріжжі ($271,2 / 263,3 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Перед тим, як відповісти на питання, чи підвищення магнітної сприйнятливості в ґрунтах міст спричинене промисловим або автотранспортним забрудненням, маємо визначити, які значення є природними для кожного з населених пунктів. Міста Київ, Бориспіль, Богуслав, Вінниця розташовані в лісостеповій зоні, де типоморфними ґрунтами є чорноземи типові та сірі лісові ґрунти [16]. Як фонове значення приймемо $\chi_{lf} \sim 35 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, встановлене для ґрунтів заповідника "Михайлівська цілина" (Сумська обл.) у роботі [6]. Лише по 3-4

зразки з Києва, Борисполя та Богуслава перевищують фоновий рівень більше, ніж вдвічі. У Вінниці високі χ_{lf} та χ_{hf} мають 40% зразків.

Міста Кривий Ріг, Запоріжжя, Гуляйполе, Маріуполь знаходяться у степовій зоні, де типоморфними ґрунтами є чорноземи звичайні [16]. Як фонове значення приймемо $\chi_{lf} \sim 80 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, встановлене для ґрунтів заповідника "Хомутівський степ" (Донецька обл.) у роботі [7]. Лише 30% зразків з Гуляйполя перевищують фоновий рівень більше, ніж вдвічі, тоді як у Запоріжжі – 60% зразків, у Кривому Розі – 86%, у Маріуполі – 100%. В останніх трьох містах наявні ґрунти з дуже високими значеннями $\chi_{lf} > 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Міста Одеса, Очаків, Мелітополь та біосферний заповідник "Асканія-Нова" (Херсонська обл.) знаходяться у сухостеповій підзоні степу, де типоморфними ґрунтами є темно-каштанові та чорноземи південні [16]. Як фонове приймемо максимальне значення для ґрунту з

заповідника "Асканія-Нова" $\chi_{lf} \sim 95 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. 36% зразків з Одеси перевищують фоновий рівень більше ніж вдвічі. Лише 24% зразків з Мелітополя демонструють χ_{lf} вище фоновому рівня та один зразок більше ніж

вдвічі перевищує його. χ_{lf} ґрунтів з Очакова не досягає фоновому рівня за виключенням одного зразка.

Магнітна сприйнятливості 27% зразків ґрунтів з Ужгорода перевищує медіанне значення більше, ніж вдвічі. Один зразок має $\chi_{lf} > 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$.

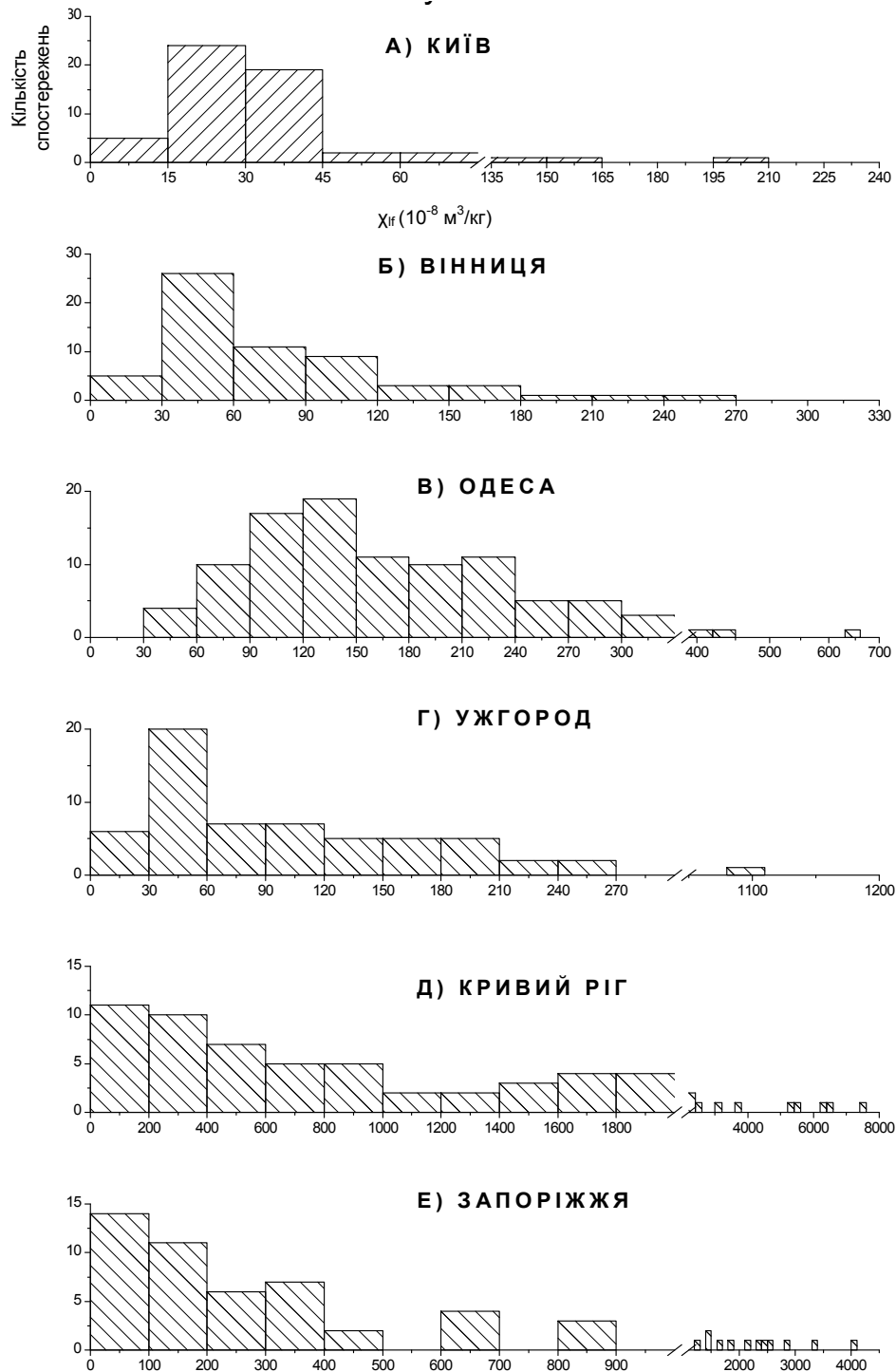


Рис. 1. Гістограми розподілу χ_{lf} ґрунтів у містах України

Частотна залежність магнітної сприйнятливості. Вимірювання магнітної сприйнятливості проведені при низькій (470 Гц) та високій (4700 Гц) частоті діючого змінного поля на приладі MS2 з датчиком MS2B (Bartington Instruments). Зерна магнітних мінералів, що здатні намагнічуватись при низькій частоті діючого магнітного поля і "не встигають" цього робити при високій, вважаються су-

перпарамагнітними. Їх вміст зумовлює різницю показників χ_{lf} та χ_{hf} . Суперпарамагнітна поведінка притаманна зернам магнітних мінералів при дуже короткому (до 100 с) часі релаксації намагніченості τ [11]. При більших значеннях τ зерна вважаються однодоменими. Отже, якщо магнетизм речовини визначається переважно дрібними зернами у доменному стані на межі суперпарамагнетизму

однодоменність, для зразків характерні значення k_{fd} >6%, тоді як при переважанні багатодомених зерен k_{fd} демонструє низькі значення [2; 3].

Серед українських міст найменші медіанні значення k_{fd} ґрунтів відмічаються у Кривому Розі, Маріуполі та Запоріжжі. Максимальні k_{fd} мають ґрунти із заповідника "Асканія-Нова".

Розглядаючи діаграми розсіювання k_{fd} від χ_{lf} можна бачити, що зразки з високими і надзвичайно високими χ_{lf} не долають порогового значення k_{fd} =6%, тобто магнетизм сильномагнітних ґрунтів міст завжди визначається вмістом відносно великих, переважно багатодомених зерен (рис. 2).

Обговорення результатів. Наочне представлення розподілів χ_{lf} та k_{fd} ґрунтів українських міст виконане у вигляді картографічних зображень (рис. 3).

Видобування залізних руд, металургійне виробництво, спалювання вугілля на теплових електростанціях є найбільш потужними джерелами феромагнітного матеріалу, який потрапляє до ґрунтів з атмосферного повітря. Промислове забруднення ґрунтів техногенними феромагнетиками яскраво виражене в крупних металургійних центрах

Кривому Розі, Маріуполі та Запоріжжі. Для зразків з високими χ_{lf} >10⁻⁵ м³/кг ґрунтів цих міст k_{fd} не перевищує 3%.

У Запоріжжі максимальні значення χ_{lf} ґрунтів сконцентровані навколо Запорізького заводу феросплавів та сталепрокатного заводу. У Кривому Розі максимальні значення спостерігаються довкола гірничо-збагачувальних комбінатів підприємств гірничо-металургійного комплексу ВАТ "Арселор Міттал Кривий Ріг".

У Маріуполі основними забруднювачами оточуючого середовища є підприємства чорної металургії: ПАТ "Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча" та "Металургійний комбінат "Азовсталь" [15]. У безпосередній близькості від них спостерігаються значення від 2082,7 до 7963,6×10⁻⁸ м³/кг.

Частотна залежність магнітної сприйнятливості в містах завжди має понижені значення (k_{fd} < 6%) завдяки впливу автотранспорту та промисловості.

В усіх містах у значній кількості наявні зразки ґрунтів з підвищеними відносно природного фону значеннями χ_{lf} та χ_{hf} та пониженими k_{fd} . Спільним для середовища всіх міст забруднювачем виступає автомобільний транспорт – важливе джерело дрібнодисперсних твердих частинок, що містять магнітні сфери.

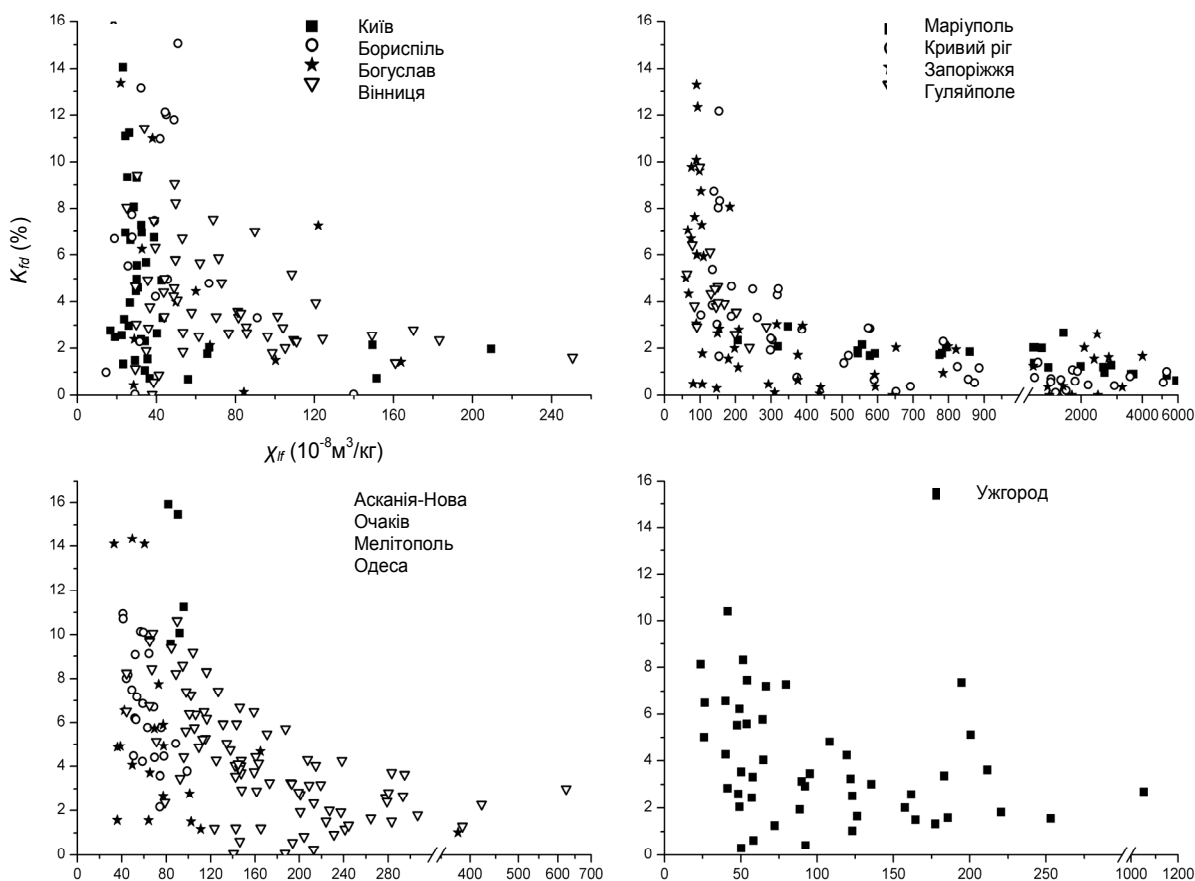


Рис. 2. Залежність k_{fd} від χ_{lf} для ґрунтів міст з різних природних зон України

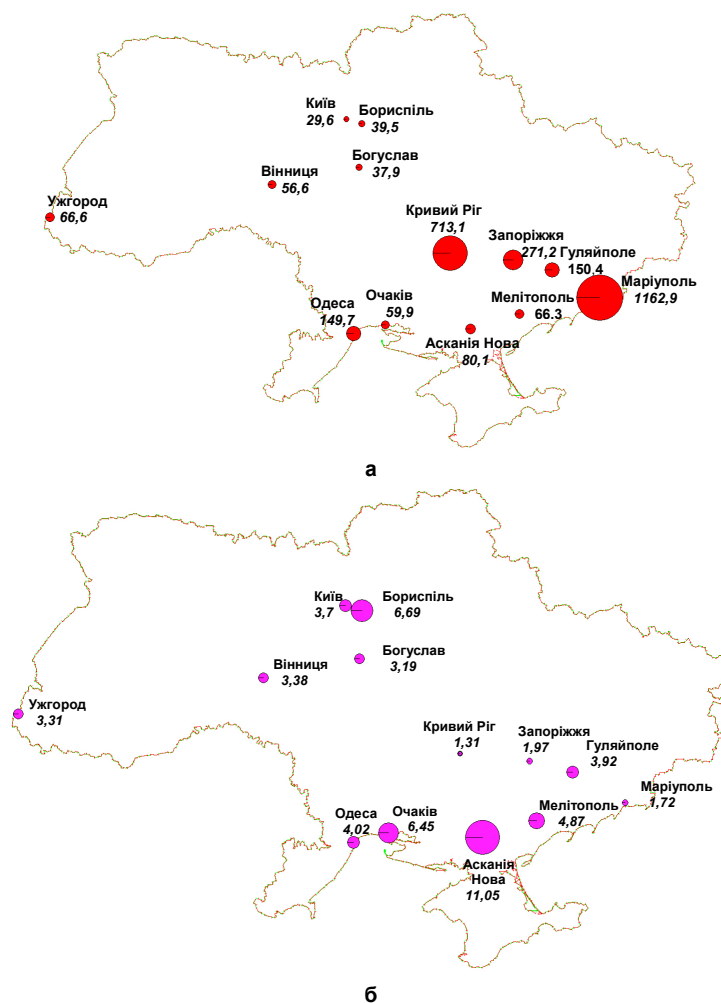


Рис. 3. Низькочастотна магнітна сприйнятливість та частотна залежність магнітної сприйнятливості ґрунтів населених пунктів України. Карті побудовано за медіанними значеннями:

а – низькочастотна магнітна сприйнятливість χ_{lf} , $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$; б – частотна залежність магнітної сприйнятливості k_{fd} , %

Висновки. Магнітна сприйнятливість ґрунтів українських міст змінюється в широких межах, її розподіл у цілому відображає рівень техногенного навантаження на міське середовище.

Екологічно чистими можуть бути визнані міста з низькими медіанними та середніми значеннями χ_{lf} та χ_{hf} та відносно високими k_{fd} . Це міста Бориспіль, Очаків, Мелітополь та заповідник "Асканія-Нова". До міст із середнім рівнем техногенного забруднення ґрунтів слід віднести Одесу, Вінницю, Ужгород. Для міст Гуляйполе і Богуслав мала кількість відібраних зразків не дозволяє зробити об'єктивних висновків. Найбільш забрудненими слід визнати міста Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг.

У цілому, для забруднених ґрунтів характерні високі χ_{lf} та χ_{hf} та низькі значення k_{fd} . Для чистих ґрунтів – навпаки.

Отримані висновки про загальний екологічний стан ґрунтів не суперечать даним спостережень, що проводились гідрометеорологічними організаціями Державної служби України з надзвичайних ситуацій [17].

У подальшому планується дослідити кореляційні зв'язки між магнітними властивостями та вмістом важких металів, пилової фракції та інших екоотоксикантів.

Список використаних джерел

1. Dearing J. A. Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System / J. A. Dearing. – Kenilworth: Chi Publishing, 1999. – 54 p.
2. Dearing J. A. Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral

formation / J. A. Dearing, P. M. Bird, R. J. L. Dann, S. F. Benjamin // *Geophys. J.* – 1997. – Int. 130. – P. 727-736.

3. Dearing J. A. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials / J. A. Dearing, R. J. L. Dann, K. Hay, J. A. Lees, P. J. Loveland, B. A. Maher, K. O'Grady // *Geophys. J.* – 1996. – Int. 124. – P. 228-240.

4. Evans M. E. Environmental magnetism. Principles and Applications of Environmental Magnetism / M. E. Evans, F. Heller // *International Geophysics series*. Elsevier science (USA). – 2003. – V. 86. – 299 p.

5. Jeleńska M. Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, M. Kądziałko-Hofmokl, B. Kopcewicz, A. Sukhorada, K. Bondar, Zh. Matviishina // *Acta Geophysica* 49. – 2008. – P. 1012-1033.

6. Jeleńska M. Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, M. Kądziałko-Hofmokl, A. Sukhorada, K. Bondar, Zh. Matviishina // *Stud. Geophys. Geod.* – 2008. – № 52. – P. 255-270.

7. Jeleńska M. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, B. Kopcewicz, A. Sukhorada, K. Tyamina, M. Kądziałko-Hofmokl, Zh. Matviishina // *Geophysical Journal International*. – 2004. – № 159(1). – P. 104-116.

8. Jordanova D. Magnetism of outdoor and indoor settled dust and its utilization as a tool for revealing the effect of elevated particulate air pollution on cardiovascular mortality / D. Jordanova, N. Jordanova, P. Lanos, P. Petrov, T. Tsacheva // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2012. – 13, Q08Z49, doi:10.1029/2012GC004160.

9. Maher B. A. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves / B. A. Maher, C. Mooreb, J. Matzka // *Atmospheric Environment*. – 2008. – 42. – P. 364-373.

10. Butler R. F. Paleomagnetism magnetic domains to geologic terranes [Електронний ресурс] / Robert F. Butler // Oxford: Blackwell Scientific. – 1992. – Режим доступу до ресурсу: http://www.earth.ox.ac.uk/research/groups/magnetism/online_resources/paleomagnetism_e-book.

11. Yang T. Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications / T. Yang, Q. Liu, H. Li, Q. Zeng, L. Chan // *Atmos. Environ.* – 2010. – 44(9). – P. 1175-1185.

12. Бондар К. Нагромадження магнітного забруднення і важких металів у ґрунтах і рослинному покриві міста Києва / К. Бондар, А. Самчук,

I. Стахів, I. Слободяник // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2010. – Вип. 50. – С. 26–30.

13. Бондар К. М. Моніторинг забрудненості повітряного басейну Києва за магнітною сприйнятливостю ґрунтів і рослинності / К. М. Бондар, I. В. Віршило, I. Р. Стахів, I. В. Слободяник // Геоінформатика. – 2011. – № 3. – С. 83–87.

14. Бондар К. М. Про магнітне забруднення та підкислення ґрунтів у приміській зоні Києва порівняно з фоновими аналогами / К. М. Бондар, О. О. Макієнко, Ю. В. Кузь // Геоінформатика. – 2015. – № 2. – С. 71–78.

15. Войтюк Ю. Ю. Еколого-геохімічні дослідження ґрунтів м. Маріуполь / Ю. Ю. Войтюк, I. В. Кураєва, В. Й. Манічев, С. П. Кармазінченко // Екологічна геохімія. Пошукова та екологічна геохімія. – 2014. № 1–2(14–15). – С. 35–39.

16. Національний атлас України. ґрунти та ґрунтові ресурси. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html>.

17. Огляд порівняння забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2014 році. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1.

References

1. Dearing, J.A. (1999). Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System. Kenilworth: Chi Publishing.

2. Dearing, J.A., Bird, P.M., Dann, R.J.L., and Benjamin, S.F. (1997). Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation. *Geophys. J.*, 130, 727–736.

3. Dearing, J.A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A. et al. (1996). Frequency – dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J.*, 124, 228–240.

4. Evans, M. E., Heller, F. (2003). Environmental magnetism. Principles and Applications of Environmental Magnetism. *International Geophysics series. Elsevier science (USA)*, 86.

5. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Bondar, K. et al. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012–1033.

6. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Sukhorada, A., Bondar, K., Matviishina, Zh. (2008). Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes. *Stud. Geophys. Geod.*, 52, 255–270.

7. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K., Kądziałko-Hofmokl, M. et al. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophysical Journal International*, 159(1), 104–116.

8. Jordanova, D., Jordanova, N., Lanos, P., Petrov, P., and Tsacheva, T. (2012). Magnetism of outdoor and indoor settled dust and its utilization as a tool for revealing the effect of elevated particulate air pollution on cardiovascular mortality. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08Z49, doi:10.1029/2012GC004160.

9. Maher, B.A., Mooreb, C., Matzka, J. (2008). Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*, 42, 364–373.

10. Butler, R. F. (1992). Paleomagnetism magnetic domains to geologic terranes. *Oxford: Blackwell Scientific. earth.ox.ac.uk*. Retrieved from http://www.earth.ox.ac.uk/research/groups/magnetism/online_resources/paleomagnetism_e-book.

11. Yang, T., Liu, Q., Li, H., Zeng, Q., and Chan, L. (2010). Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications. *Atmospheric Environment*, 44(9), 1175–1185.

12. Bondar, K.M., Samchuk, A.I., Stakhiv, I.R., Slobodyanyk, I.V. (2010). Accumulation of magnetic pollution and heavy metals on soils and plants in Kyiv city. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 26–30. [in Ukrainian].

13. Bondar, K.M., Virshylo, I.V., Stakhiv, I.R., Slobodyanyk, I.V. (2011). Air pollution monitoring in Kyiv using magnetic susceptibility of soils and plants. *Geoinformatika*, 3, 83–87. [in Ukrainian].

14. Bondar, K.M. (2015). Pro magnitne zabrudnennya ta pidkyslennya gruntiv u prymiskiy zoni Kyeva porivnyano z fonovymy analogamy. *Geoinformatika*, 3, 71–78. [in Ukrainian].

15. Voytyuk, Yu., Kuraeva, I., Manichev, V., Karmazynenko, S. (2014). Ecological and geochemical studies of soils Mariupol. *Environmental Geochemistry. Search and environmental geochemistry*, 1–2(14–15), 35–39. [in Ukrainian].

16. The National Atlas of Ukraine. Soil and groundwater resources. [wdc.org.ua](http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html). Retrieved from <http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html>. [in Ukrainian].

17. Review of the state of environmental pollution in Ukraine, according to observations of meteorological organizations in 2014. [cgo.kiev.ua](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1). Retrieved from http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 15.09.15

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

E-mail: ks_bondar@ukr.net,

I. Tsyupa, First Category Engineer

E-mail: tsyupa@ukr.net,

I. Stakhiv, Cand. Sci. (Geol.), Engineer

E-mail: fatix@ukr.net

Institute of Geology

Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOILS FROM UKRAINIAN CITIES AND EVALUATION OF POLLUTION LEVELS

The paper deals with comparative study of soil samples from 12 Ukrainian cities and one natural reserve by low-field and high-field magnetic susceptibility (χ_{lf}) and its frequency dependence (K_{fd}). The aim was to examine the data for the magnetic parameters mentioned above to evaluate ecological state of urban soils that accumulate particulate matter from industrial emissions. Low-field magnetic susceptibility of urban soils from Ukrainian cities is revealed to vary widely, namely from 2.3 to $7963.3 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; its distribution overall showing the level of anthropogenic impact on the urban environment. Frequency dependence of the magnetic susceptibility of urban soils always has low values, for their being enriched with relatively large grains of magnetic minerals, contained in the exhaust gases from motor vehicles and industry. Polluted soils from industrial cities have predominantly high χ_{lf} and low K_{fd} values. Conversely, unpolluted soils show the reverse dependence. Conclusively, Mariupol, Zaporizhia, Kryvyi Rih, cities of advanced metallurgical industry, top the list of the most polluted areas, while Boryspil, Ochakiv, Melitopol, cities of the lowest anthropogenic impact on the environment, lead the list of the least polluted areas.

Keywords: magnetic susceptibility, frequency dependence of the magnetic susceptibility, soil, city, industrial pollution.

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

E-mail: ks_bondar@ukr.net,

И. Цюпа, инж. I кат.,

E-mail: tsyupa@ukr.net,

И. Стахив, канд. геол. наук, инж.,

E-mail: fatix@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЧВ УКРАИНСКИХ ГОРОДОВ И ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ИХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В работе представлена сравнительная характеристика почв из 12 городов Украины и одного заповедника по магнитной восприимчивости (χ_{lf}) и ее частотной зависимости (K_{fd}). Целью исследования было определение информативности указанных магнитных параметров для оценки экологического состояния городских почв, которые накапливают в себе мелкодисперсные твердые частицы техногенных выбросов. Показано, что магнитная восприимчивость почв украинских городов изменяется в широком диапазоне от $2,3$ до $7963,3 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, ее распределение в целом отображает уровень техногенной нагрузки на городскую среду. Частотная зависимость магнитной восприимчивости в городских почвах, преимущественно, имеет низкие значения ($< 6\%$), так как они обогащаются относительно крупными зернами магнитных минералов, которые присутствуют в выхлопных газах автотранспорта и промышленности. Почвы загрязненных городов имеют преимущественно высокие значения χ_{lf} и низкие значения K_{fd} . Для чистых почв справедлива обратная закономерность. Наиболее загрязненными следует признать города с развитой металлургической промышленностью – Мариуполь, Запорожье, Кривой Рог. К городам с наименьшей техногенной нагрузкой следует отнести Борисполь, Очаков, Мелитополь.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, частотная зависимость магнитной восприимчивости, почва, город, техногенное загрязнение.

УДК 550.34

О. Чалий, геофізик
E-mail: olegchaliy88@gmail.comВ. Ільєнко, пров. інж.
E-mail: hgy@yandex.uaС. Щербіна, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: pohup@ukr.net
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
пр. акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна

МАКРОСЕЙСМІЧНІ ПРОЯВИ ЗЕМЛЕТРУСУ 03.02.2015 НА МЕЖІ ПОЛТАВСЬКОЇ І СУМСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)

Наведено результати дослідження макросейсмічних проявів відчутного землетрусу на території Сумської та Полтавської областей, який відбувся 03.02.2015 р. о 07 год. 56 хв. місцевого часу. Магнітуда $M=4.6$, інструментальні географічні широта й довгота: 50.64°N і 34.13°E відповідно.

Мета роботи полягає у вивченні на основі просторового розподілу інструментальних та макросейсмічних проявів досліджуваного землетрусу, природи його походження, параметрів вогнища та локальних закономірностей загасання енергії сейсмічних струшувань, необхідних для прогнозування величини та інтенсивності майбутніх потенційно можливих землетрусів.

Методика. Проаналізовано сейсмотектонічну ситуацію в районі землетрусу. Опрацьовано записи сейсмічних коливань, зареєстрованих на сейсмостанціях України та на станціях глобальної сейсмічної мережі. Проаналізовано їх спектрограми. Для вивчення розподілу сейсмічних проявів на поверхні ґрунту проведено експедиційні роботи з макросейсмічного обстеження наслідків відчутного землетрусу. Шляхом візуального спостереження і обробки інформації, одержаної в результаті опитування населення районів, де відчувався землетрус, побудовано карти-схеми його макросейсмічних проявів.

Результати. В результаті аналізу матеріалів польових спостережень та опитування населення, побудовано карти-схеми проявів землетрусу на території Сумської та Полтавської областей, з яких випливає, що в епіцентрі спостерігалися 6-ти бальні сейсмічні прояви. Встановлено, що через секунду після першого поштовху спостерігався другий, який також мав імпульсний характер. Другий поштовх мав більшу інтенсивність. Землетрус відчувався людьми на відкритій місцевості. Від нього падали незакріплені предмети. В епіцентральної зоні в багатьох будинках утворилися тріщини в штукатурці. Сильно коливалася вода в резервуарах. Землетрус охопив площу в радіусі 50 км від макросейсмічного епіцентру. Максимальні прояви спостерігалися в селах Тимофіївка, Бакути та Плішивець. За результатами обслідувань визначено макросейсмічні параметри вогнища землетрусу, які виявилися дещо відмінними від інструментально встановлених: макросейсмічні географічні широта і довгота: 50.49°N і 34.22°E відповідно. Запропоновано можливе пояснення наявних розбіжностей і варіант механізму утворення розриву суцільності середовища при досліджуваному землетрусі.

Наукова новизна. На території Дніпро-Донецької западини (ДДЗ) вперше комплексом методів інструментального та експедиційного макросейсмічного обстеження досліджено шестибальний тектонічний землетрус, встановлено макросейсмічні параметри його вогнища, побудовано карти-схеми розподілу інтенсивності макросейсмічних коливань. Показано, що при землетрусі 03.02.2015 р. в епіцентральної зоні на ґрунтах 2-ї категорії за сейсмічними властивостями спостерігалися сейсмічні впливи, які відповідають інтенсивності, показаній на картах загального сейсмічного районування ЗСР-2004-С, яка є складовою частиною Державних будівельних норм ДБН-В.1.1:12-2014 "Будівництво в сейсмічних районах України".

Практична значимість. Результати досліджень будуть використані для прогнозування величини та інтенсивності майбутніх потенційно можливих землетрусів на території ДДЗ з метою сейсмічного захисту населення і важливих промислових об'єктів.

Ключові слова: макросейсмічний прояв, інтенсивність землетрусу, ізосейсти, тектоніка, розлом.

Вступ. 03 лютого 2015 року близько 6 години за Гринвічем десятками станцій глобальної сейсмічної мережі був зафіксований землетрус з добре вираженими фазами вступів поздовжньої P_n та поперечної S_n хвиль. За даними спостережень сейсмологічних мереж України, Румунії, Росії та ін. було визначено параметри сейсмічної події:

1. Час виникнення землетрусу в джерелі – 05 год. 56 хв. за Гринвічем;
2. Положення сейсмічної події – біля с. Василівка, Лебединського р-ну Сумської області, географічні координати: 50.64°N , 34.13°E ;
3. Глибина джерела – 10 км;
4. Магнітуда землетрусу – 4.6;
5. Природа походження – коровий землетрус тектонічного походження, що підтверджується величиною глибини вогнища, яка унеможливіє техногенні причини або тригерні ефекти. Глибина вогнища встановлена за часом вступів глибинних фаз на зареєстрованих сейсмограмах.

Територія Дніпро-Донецької западини (ДДЗ) вважається слабо сейсмічною. Згідно з картою загального сейсмічного районування території України, аналогічний землетрус у цій зоні може виникнути 1 раз на 5000 років [8].

Мета. Мета роботи полягає у вивченні на основі просторового розподілу інструментальних та макросейсмічних проявів досліджуваного землетрусу, природи його походження, параметрів вогнища та локальних закономірностей загасання енергії сейсмічних струшу-

вань, необхідних для прогнозування величини та інтенсивності майбутніх потенційно можливих землетрусів.

Методика робіт. На території ДДЗ і в суміжних районах недостатньо розвинута мережа сейсмічних станцій України. Найближче до епіцентру досліджуваного землетрусу розташована сейсмічна станція "Полтава". Далі в межах України по віддаленості від епіцентру знаходиться станція "Кривий Ріг", наступна станція, дані якої ми використали, – це "Львів" та румунська станція "MLR". Записи події, одержані на цих станціях, оброблялися із застосуванням частотної фільтрації і аналізу Фур'є для побудови спектрів, будувалися також спектрограми записів. Враховуючи тектонічне походження землетрусу вивчено тектонічну обстановку району, де відбувся землетрус.

Геолого-геофізична вивченість району досліджень. Слід відмітити, що більша частина території України при невеликій кількості зареєстрованих сейсмічних подій лишається недостатньо вивченою стосовно виокремлення можливих сейсмогенних зон.

Тектонічні особливості структури земної кори в північно-західній частині північної припортової зони ДДЗ. За геологічною обстановкою місце розташування землетрусу припадає на грабен герцинської складчастості з північно-припортовою зоною в складі підзон складних дислокацій ДДЗ (рис. 1). У районі досліджень проходять два розломи з правосторонніми зсувами ранньопротерозойського часу закладання,

один із них перетинає соляний купол, біля якого концентруються газові родовища. Купольна структура знаходиться в межах Синівської компенсаційної мульди. Епіцентр землетрусу розташований між цими розломами. Очевидно ці розломи також виникли в результаті попередніх землетрусів. На тектонічній карті [2, 4] вказано, що зазначені розривні порушення являють собою ймовірні розломи, які простежуються під осадовим чохлам за геофізичними даними. Глибоко занурена частина консолідованого архейсько-нижньопротерозойського кристалічного фундаменту, який підстилає потужну товщу осадових порід, перекритих рядом теригенно-червоноколірної мідненої, сульфатно-карбонатної, рифогенно-карбонатної і поліциклічної карбонатно-сульфатно-галогенної формації.

У подальшому необхідно провести додаткові геофізичні дослідження для отримання детальної моделі глибинної будови земної кори в епіцентральної зоні землетрусу. Комплекс геофізичних методів повинен включати: детальну магнітну зйомку та аналіз даних раніше проведеної сейсморозвідки. Слід залучити також методи, що базуються на вивченні електричної провідності, які свого часу використовувалися для стру-

ктурного геодинамічного картування обвалів в шахтних полях (СГДК) [7]. Необхідно також розмістити локальну мережу сейсмічних станцій в епіцентральної зоні землетрусу для моніторингу майбутніх землетрусів та вибухів, що проводяться на території газовидобування.

На даний час ми спостерігаємо активізацію землетрусів з вогнищами на платформній частині території України, зокрема, на Українському щиті (УЩ), Воронезькому кристалічному масиві (ВКМ) і в районі Кривого Рогу [9]. Зазначимо, що вивчення таких локальних землетрусів суттєво ускладнюється браком коштів на експедиційне обстеження їх наслідків. Аналізуючи геолого-геофізичну вивченість району виникнення вогнища, приходиться відзначити, що дослідження були скеровані на пошук корисних копалин і виявились мало придатними для детального описання сейсмотектонічної моделі для території, на якій зафіксована сейсмічна активність. На сьогодні для вирішення сейсмологічних задач в Україні потрібне детальне вивчення структурно-тектонічних особливостей територій, де відбулися, або готуються місцеві землетруси.

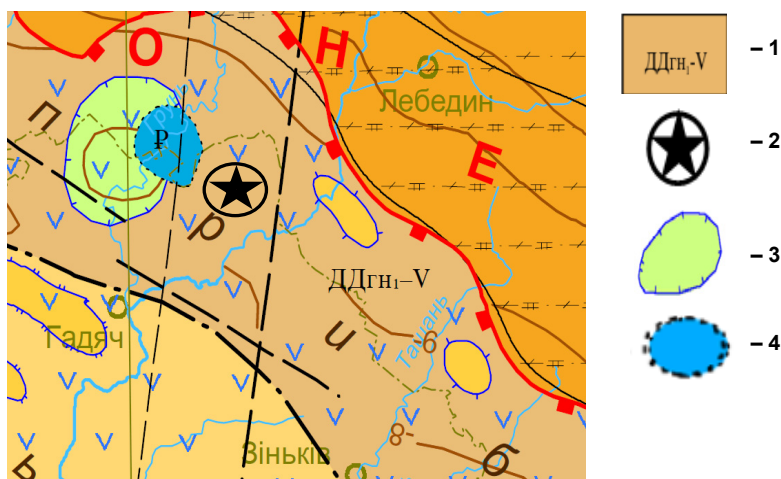


Рис. 1 Фрагмент тектонічної карти України [10] для північної прибортової зони ДДЗ:

1 – грабен північної прибортової зони підзони складних дислокацій ДДЗ, герцинська складчастість; 2 – епіцентр землетрусу, визначений за даними опитувань; 3 – Синівська компенсаційна мульда; 4 – Соляний купол палеозойського віку

ВКМ характеризується ритмічною сейсмічністю. За результатами сейсмічного моніторингу за останні 12 років зареєстровано понад 300 неглибоких землетрусів 6–10 енергетичних класів [2].

Для визначення всіх характеристик землетрусу зазвичай опрацьовуються їх записи, одержані на сейсмічних станціях [1]. При цьому, найважливішими є записи близьких станцій. Для детальнішого опису відчутних землетрусів, проводять макросейсмічне обстеження їх наслідків. При цьому вивчають розподіл по поверхні ґрунту інтенсивності сейсмічних струшувань, і на основі статистичного аналізу результатів вивчення будують карти ізосейст. Макросейсмічні прояви досліджують за допомогою польових експедиційних обстежень і анкетного опитування населення районів виникнення землетрусу. Документується характер пошкодження житлових будівель і споруд, при їх наявності. Отримані дані опрацьовуються з використанням методик вивчення макросейсмічних ефектів при землетрусах [3, 6].

Результати. На рис. 2, для прикладу, показана вертикальна складова запису землетрусу 3.02.2015 р. на сейсмічній станції MLR (Румунія). На записі чітко виділяються вступі Pn- і Sn-хвиль. На рис. 2а показано збільшену частину запису зі вступом Pn-хвилі. На рис. 2б

показано амплітудний спектр двогодинного запису. Максимальні значення коливань спостерігаються на частоті 0.44 Гц (рис. 3).

Макросейсмічне визначення положення землетрусу. Шляхом аналізу макросейсмічних даних було визначено місце прояву максимальної інтенсивності струшувань (6 балів) на поверхні ґрунту 2-ї категорії за сейсмічними властивостями при досліджуваному землетрусі. Приклади результатів анкетування та аналізу пошкоджень будинків і споруд у с. Тимофіївка Гадяцького р-ну Полтавської обл. наведено в (табл. 1).

Вказаний населений пункт максимально постраждав від землетрусу: очевидці відчували переляк і вибігали з приміщень. У селі відчутні були два поштовхи землетрусу, опис місцевих жителів був емоційно забарвлений, що свідчить про пережиті хвилювання, викликані землетрусом. Пошкодження будівель теж засвідчують значну інтенсивність землетрусу, яка сягнула позначки 6 балів за шкалою MSK-64. Всього опитування і візуальне вивчення макросейсмічних проявів землетрусу було проведено в тринадцяти населених пунктах. У результаті було зібрано сто одинадцять анкет, які були зведені в таблиці, аналогічні представлений вище.

Місцеве населення розповідало про сильне дрижання і коливання землі під ногами на вільній поверхні ґрунту і в приміщеннях на перших поверхах будинків різного типу. На вищих поверхах макросейсмічні прояви підсилювалися. Багато будинків зазнало пошкоджень у

вигляді тріщин в штукатурці та стінах. На рис. 4 показано фотографії стін будівель, які зазнали руйнувань у населених пунктах з 6-ти бальними проявами сейсмічних струшувань на ґрунтах 2-ї категорії за сейсмічними властивостями.

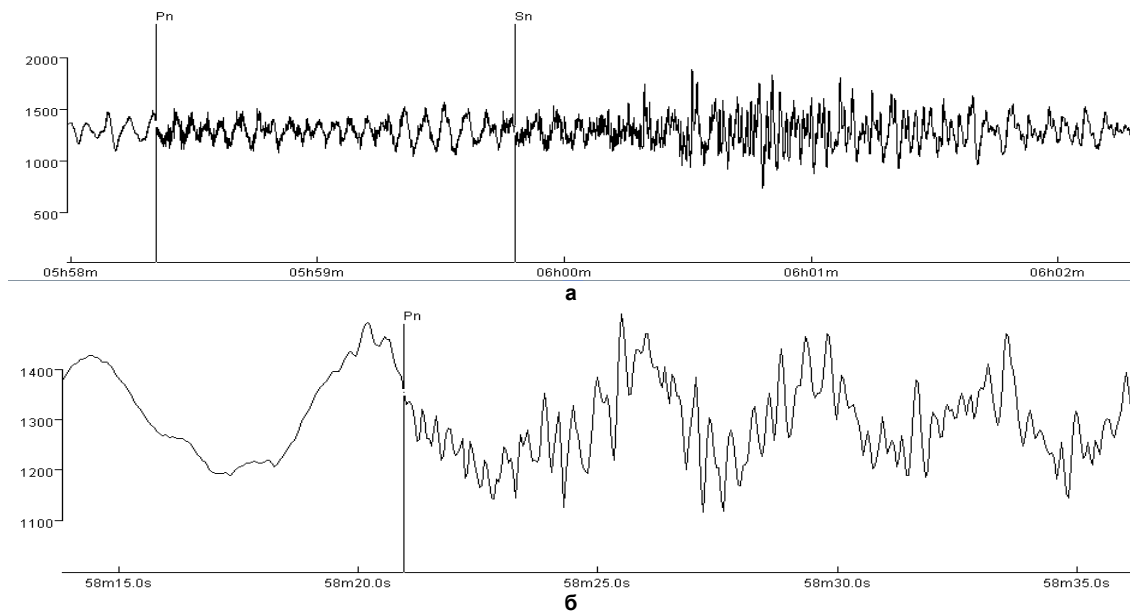


Рис. 2. Запис землетрусу на сейсмостанції MLR:

а – з вступами Pn- та Sn-хвиль, Z складова; б – з виразним вступом Pn-хвилі, Z складова

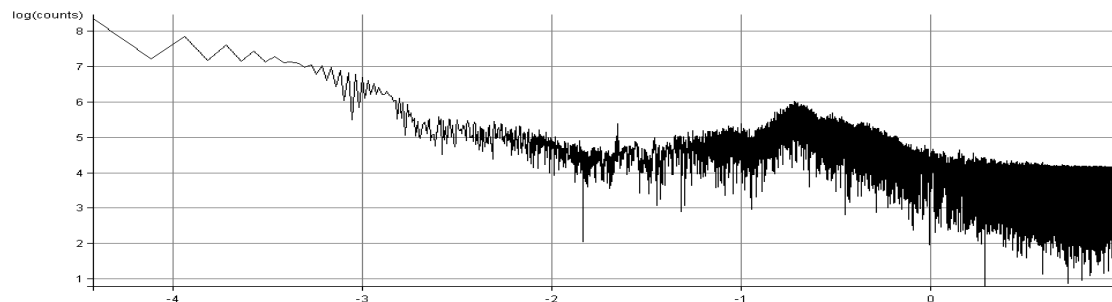


Рис. 3. Спектр землетрусу на сейсмостанції MLR з максимальними значеннями, за якими визначається частота 0.44 Гц

Таблиця 1

Анкета опитувань в селі Тимофіївка Гадяцького р-ну Полтавської області

№	Анкета Рік\місяць\ обл\р-н.п.\№, координати	Трива- лість коли- вань	Спостереження: поведінка будівель, рух предметів, коливання рідини тощо	Тип будинку, поверх	Ступінь пошкодження	Додаткові дані	Ба- лиMS K-64
1	15\02\П\Г\Тим\2	5 с	Відчув на подвір'ї. Коливання будинку. Метушились тварини	Цегляний	Тонкі тріщини в штукатурці	Гул схожий на те, як запалюють факел у свердловині. 1-ий поштовх слабкий, а другий дужче	6
2	15\02\П\Г\Тим\4	До 1 хв	Відчули на подвір'ї. Ніби впало дерево. Впав годинник зі стіни	Цегляний 1\1	Тріщини в штукатурці, стінах	Два сильні поштовхи один за іншим	6
3	15\02\П\Г\Тим\6	30 с	Дзвін посуду, дрижання меблів, частково побився посуд, холодильник підскочив на 5-10 см. Злякалися	Цегляний 1\1	Тріщини в штукатурці, осипання побілки, відколювання шматків штукатурки		6
4	15\02\П\Г\Тим\10	До 2 хв	На території газового промислу на подвір'ї. Злякалися. Два поштовхи, 1-ий дужче, другий менше з інтервалом до 1 хв			Гул схожий на звук літака	6
5	15\02\П\Г\Тим\11	3 хв	Дрижання будинку, коливання будинку, скрип підлоги, дзвін посуду, дрижання меблів, зсув меблів, впав годинник, сильне розгойдування висячих предметів	Цегляний 1\1	Волосяні тріщини в штукатурці	Гул, ніби літак летить. 1-й поштовх сильний, потім почало втихати, через 1 с поштовх, ніби дужчий	6



Рис. 4. Фотографія стін будівель, які зазнали руйнувань в селах з 6-ти бальними значеннями інтенсивності землетрусу 03.02.2015

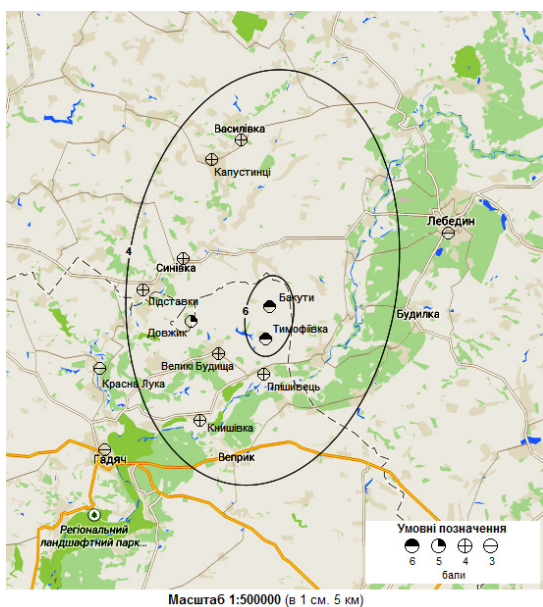
За результатами макросейсмічних обстежень наслідків землетрусу було встановлено положення його макросейсмічного епіцентру.

Незважаючи на суб'єктивність свідчень про прояви землетрусу, однозначно з'ясувалося, що:

- положення епіцентру землетрусу зміщене на 30 км на південь, порівняно з визначеним інструментальним епіцентром;
- максимальна інтенсивність досягала 6 балів за шкалою MSK-64 на поверхні ґрунту 2-ї категорії за сейсмічними властивостями, що підтверджується наявністю пошкоджень першого ступеню будівель типу А;
- були відчутні два поштовхи з інтервалом у кілька секунд, при цьому перший поштовх мав меншу інтенсивність, порівняно із другим, після останнього поштовху коливання не затухали майже хвилину.

На карті ізосейст, побудованій методом інтерполяції (рис. 5а), видно, як нерівномірно поширені ізолінії інтенсивності прояву землетрусу. Землетрус був відчутний в радіусі 40 км. В область максимального струшування попадають села Тимофіївка й Бакути зі значенням 6 балів; п'ятибальні струшування спостерігалися в с. Довжик. Значна частина території зазнала інтенсивності струшувань у 4 та 3 бали. В селах Васиївка та Капустинці, біля яких знаходиться інструментальний епіцентр землетрусу, визначений інструментально, інтенсивність сейсмічних струшувань дорівнювала 4-м балам. У м. Лебедин спостерігалися 3-бальні ефекти. В Гадячі дані опитувань свідчать про 3-4-бальні коливання.

вність, порівняно із другим, після останнього поштовху коливання не затухали майже хвилину.



а



б

Рис. 5. Карти ізосейст Гадяцького землетрусу:

а – карта ізосейст та розподілу інтенсивності землетрусу, побудована з використанням даних макросейсмічного обстеження, наведених у табл. 1; б – теоретична карта ізосейст землетрусу, розрахована з використанням методу Шебаліна

За допомогою методу Шебаліна [5] було розраховано за інструментальними даними про вогнище землетрусу теоретичне поле розподілу сейсмічної інтенсивності на досліджуваній території. На рис. 5б показано ізосейсти теоретичного розподілу сейсмічної інтенсивності. Із порівняння реально спостережених і теоретично розрахованих ізосейст помітно відмінності між розташуванням ізосейст, отриманих зі спостережених та розра-

хованих даних, що яскраво видно на картах. Ізосейсти спостереженої інтенсивності мають нерівномірну віддаленість, що, вочевидь, визначається особливістю діаграми випромінювання сейсмічної енергії з вогнища землетрусу або неоднорідністю середовища і анізотропією локальних законів загасання сейсмічної енергії.

Наукова новизна. На території ДДЗ, яка вважається сейсмічно спокійною, вперше сейсмостанціями заре-

естровано землетрус з $M=4.6$, для якого авторами статті було проведено експедиційні роботи та анкетування населення для вивчення макросейсмічних проявів.

Практична значимість. Результати досліджень посприяють оптимальному підбору інженерних заходів із забезпечення сейсмостійкого будівництва будинків і споруд. Черговий раз стає очевидною та вмотивованою необхідність розширення мережі станцій для сейсмічного моніторингу України.

Висновки:

1. Згідно з останніми сейсмологічними даними, на платформній частині території України можуть відбуватися тектонічні землетруси з магнітудою 4.6;

2. Локальна сейсмічна подія 03.02.2015 р. на границі Полтавської й Сумської областей за значенням магнітуди переважає магнітуду "розсіяної" (доменної) сейсмічності, яка використовувалася при побудові карт загального сейсмічного районування ЗСР-2004-С;

3. Сучасна сейсмічність України пов'язана з її геологічною будовою, локальними процесами в земній корі і літосфері, а також з глобальною динамікою тектонічних плит;

4. Для сейсмічного моніторингу території України необхідно розширити національну мережу сейсмічних станцій. Чим ближчими є сейсмічні станції до гіпоцентру сейсмічної події, тим точнішими будуть інструментальні дані про їх параметри;

5. Відмінність між інструментальним і макросейсмічним положенням вогнища землетрусу вказує напрямок розриву суцільності середовища від гіпоцентру до точки, де виділилась максимальна кількість сейсмічної енергії.

Список використаних джерел

1. Borman P. New Manual of Seismological Observatory Practice [Електронний ресурс] / Peter Borman // GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://nmsop.gfz-potsdam.de>.
2. Ефременко М. А. Геофизические поля и землетрясения на территории Воронежского кристаллического массива / М. А. Ефременко, Е. А. Рогожин // Геофизические исследования. – 2010. – Т. 11, № 4. – С. 57–71.
3. Королев В. А. Анализ макросейсмического эффекта землетрясения 13 ноября 1981 г. в Измаиле / В. А. Королев, А. М. Скляр, В. С. Князева // Макросейсмические и инструментальные исследования сильных землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии. – 1985. – Вып. 26. – С. 51–56.

4. Круглов С. С. Тектонична карта України М 1:1000000 / С. С. Круглов, В. Й. Самсонов. – Київ, 2007. – (Державна геологічна служба).

5. Кульчицкий В. Е. Оценка параметров затухания интенсивности анизотропных макросейсмических полей / В. Е. Кульчицкий. // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36, № 2. – С. 138–147.

6. Національний стандарт України ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010. Шкала сейсмічної інтенсивності – Київ: Мінеріонбуд України, 2010.

7. Панов Б. С. Временное методическое руководство по реализации полевого геофизического способа структурного геодинамического картирования, азимутального – способа СГДК-А / Б. С. Панов, Е. П. Тахтамиров, А. Н. Лубочников. – Донецк, 1990. – (Отчет о научно-исследовательской работе).

8. Пустовітенко Б. Г. Карта загального сейсмічного районування України / Б. Г. Пустовітенко, В. І. Уломоу. – 2004.

9. Сейсмічність центральної частини Українського щита у період з 2007 по 2013 роки / [О. В. Кендзера, В. В. Кутас, Ю. А. Андрущенко та ін.]. // Геодинаміка. – 2014. – № 1. – С. 144–158.

10. Тектонична карта України: Пояснювальна записка / [С. С. Круглов, Ю. О. Арсірій, В. Я. Великанов та ін.]. – Київ, 2007.

References

1. Bormann, P. (Ed.) (2012). *New Manual of Seismological Observatory Practice* (NMSOP-2), IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam; <http://nmsop.gfz-potsdam.de>; DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2 urn:nbn:de:kobv:b103-NMSOP-2.
2. Efremenko, M.A., Rogozhin, E.A. (2010). Geophysical field and earthquakes on the territory of the Voronezh crystalline massif. *Geophysical Research*, 4, 57–71. [in Russian].
3. Korolev, V.A., Sklyar, A.M., Knyazev, V.S. (1985). Analysis of macroseismic earthquake effect November 13, 1981 in Izmail. *Macroseismic and instrumental studies of large earthquakes. Questions earthquake engineering*, 26, 51–56. [in Russian].
4. Kruglov, S.S., Samsonov, V.Y. (2007). *Ukraine Tectonic Map 1: 1 000 000*. State Geological Survey. [in Ukrainian].
5. Kulchytsky, V.E. (2014). Parameter estimation of macroseismic intensity attenuation of anisotropic fields. *Geophysical Journal*, 2, 138–147. [in Russian].
6. *National standard of Ukraine DSTU-B-V.1.1-28: 2010. The scale of seismic intensity*. (2010). Kyiv: Ukraine Ministry of Regional Development. [in Ukrainian].
7. Panov, B.S., Takhtamirov, E.P., Lubochnikov, A.N. (1990). *Temporary methodological manual for the implementation of field geophysical method by the way of structural geodynamic mapping – azimuth SGDM-A: Report on research work*. Donetsk. [in Russian].
8. Pustovitenco, B.G., Ulomov, V.I. (2004). *Map general seismic zoning of Ukraine*. [in Ukrainian].
9. Kendzera, O.V., Kutas, V.V., Andrushchenko, Y.A., Pihulevsky, P.G., Lisovyy, Y.V. (2014). Seismicity central part of the Ukrainian shield in the period from 2007 to 2013. *Geodynamics*, 1, 144–158. [in Ukrainian].
10. Kruglov, S.S., Arsiy, Y.O., Velikanov, V.J., Znamenskaya, T.O., Lisak, A.M., Lukin, A.E. et al. (2007). *Ukraine Tectonic Map: Explanatory note*. Kyiv. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 19.07.15

O. Chalyi, Geophysicist
E-mail: olegchalyi88@gmail.com

V. Il'enko, Prominent Engineer
E-mail: hgy@yandex.ua

S. Scherbina, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher
E-mail: nohup@ukr.net
Subbotin Institute of Geophysics
National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladina Ave., Kyiv, 03680 Ukraine

MACROSEISMIC EFFECT OF THE EARTHQUAKE OCCURRED ON 03.02.2015 AT THE BORDER OF POLTAVA AND SUMY REGIONS

The results of the study of macroseismic effect of the earthquake on the area of Sumy and Poltava regions, occurred on 3 February 2015 at 07 hours 56 min. local time are represented. It is characterized by magnitude of $M=4.6$ with instrumental geographical latitude and longitude: 50.64°N and 34.13°E respectively.

The aim of this paper is studying the nature of the earthquake occurrence as well as the source parameters and local patterns of attenuation of energy seismic shaking on the base of the spatial distribution of instrumental and macroseismic effect data of this earthquake. This study is needed to predict the magnitude and intensity of the possible future earthquakes.

Methods. Seismotectonic setting within the area of earthquake is analyzed. Records of seismic oscillations registered on seismic stations in Ukraine and global seismic network are processed. Their spectrograms are analyzed. For studying the distribution of seismic effects on the land surface macroseismic survey are organized in order to estimate consequences of this earthquake. By visual observation and analysis of information obtained through public poll of population of area where the earthquake occurred, maps of macroseismic effect of this seismic event were made.

Results. The analysis of materials of field observations and population poll, maps of earthquake effect on the area of Sumy and Poltava regions were made. This maps indicate 6 degree seismic intensity was observed in the earthquake focus. It is found that a second shock occurred after the first one in a second, which also had an impulse nature. The second shock was of much greater intensity. The quake was sensed by people in open territory. As a result from such kind of shakings unfixed objects fell down. Many buildings located at the epicenter in shows presence of cracks in the plaster. Most water reservoirs show high fluctuation of water level. The earthquake occurred in the area of 50 km in radius from macroseismic epicenter. Maximum intensity was observed in villages Timophiyivka, Bakuty and Plishyvets. Determined macroseismic parameters of the earthquake occurred to be slightly different from the instrumentally established – macroseismic latitude and longitude: 50.49°N and 34.22°E respectively. Possible interpretation of the differences observed and mechanism of rupture of medium continuity at the studied earthquake are made.

Scientific innovation. For the first time on the area Dnieper-Donets Depression (DDD) six degree tectonic earthquake is investigated with complex of instrumental methods and macroseismic survey. Macroseismic parameters of its source were established and maps of the distribution of macroseismic intensity fluctuations were made. It is shown that in the epicenter of the earthquake occurred on 3 February 2015, where soils is related to second category by seismic properties, were observed seismic impacts that match the intensity shown in the maps of general seismic

zoning GSZ-2004-S. These maps of general seismic zoning are the part of Department building standards DBS -V.1.1: 12-2014 "Construction in seismic regions of Ukraine".

The practical significance. The results of investigation will be used to make possible prediction about magnitude and intensity of future earthquakes that might be in the area of DDD and to provide seismic protection for the population and important industrial objects.

Keywords: macroseismic effect, the intensity of the earthquake, isoseismal, tectonics, fault.

О. Чалий, геофизик,
E-mail: olegchaliy88@gmail.com

В. Ильенко, вед. инж.,
E-mail: hgy@yandex.ua

С. Щербина, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник
E-mail: pohup@ukr.net
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины
пр. акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 03.02.2015 НА ГРАНИЦЕ ПОЛТАВСКОЙ И СУМСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Представлены результаты исследования макросейсмических проявлений ощутимого землетрясения на территории Сумской и Полтавской областей, которое состоялось 03.02.2015 г. в 07 ч. 56 мин. по местному времени. Магнитуда $M = 4.6$, инструментальные широта и долгота: $50.64^{\circ}N$ и $34.13^{\circ}E$ соответственно.

Цель работы заключается в изучении, на основе пространственного распределения инструментальных и макросейсмических проявлений исследуемого землетрясения, природы его происхождения, параметров очага и локальных закономерностей затухания энергии сейсмических встраиваний, необходимых для прогнозирования величины и интенсивности будущих возможных землетрясений.

Методика. Проанализирована сейсмотектоническая ситуация в районе землетрясения. Обработаны записи сейсмических колебаний, зарегистрированных на сейсмостанции Украины и на станциях глобальной сейсмической сети. Проанализированы их спектрограммы. Для изучения распределения сейсмических проявлений на поверхности почвы проведены экспедиционные работы по макросейсмическому обследованию последствий ощутимого землетрясения. Путем визуального наблюдения и обработки информации, полученной в результате опроса населения районов, где ощущалось землетрясение, построены карты-схемы его макросейсмических проявлений.

Результаты. В результате анализа материалов полевых наблюдений и опроса населения, построены карты-схемы проявлений землетрясения на территории Сумской и Полтавской областей, из которых следует, что в эпицентре наблюдались 6-ти балльные сейсмические проявления. Установлено, что через секунду после первого толчка наблюдался второй, который также имел импульсный характер. Второй толчок был большей интенсивности. Землетрясение ощущалось людьми на открытой местности. От него падали незакрепленные предметы. В эпицентральной зоне во многих домах образовались трещины в штукатурке. Сильно колебалась вода в резервуарах. Землетрясение охватило площадь радиусом 50 км от макросейсмического эпицентра. Максимальные проявления наблюдались в селах Тимофеевка, Бакуты и Плишинец. По результатам обследований определены макросейсмические параметры очага землетрясения, которые оказались несколько отличными от инструментально установленных: макросейсмическая широта и долгота $50.49^{\circ}N$ и $34.22^{\circ}E$ соответственно. Предложены возможное объяснение имеющихся расхождений и вариант механизма образования разрыва сплошности среды при исследуемом землетрясении.

Научная новизна. На территории Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) впервые комплексом методов инструментального и экспедиционного макросейсмического обследования исследовано шестибалльное тектоническое землетрясение, установлены макросейсмические параметры его очага, построены карты-схемы распределения интенсивности макросейсмических колебаний. Показано, что при землетрясении 03.02.2015 г. в эпицентральной зоне на почвах 2-й категории по сейсмическим свойствам наблюдались сейсмические воздействия, которые соответствуют интенсивности, показанной на картах общего сейсмического районирования ОСР-2004-С, которая является составной частью Государственных строительных норм ДБН-В.1.1: 12-2014 "Строительство в сейсмических районах Украины".

Практическая значимость. Результаты исследований будут использованы для прогнозирования величины и интенсивности будущих возможных землетрясений на территории ДДВ с целью сейсмической защиты населения и важных промышленных объектов.

Ключевые слова: макросейсмическое проявление, интенсивность землетрясения, изосейсты, тектоника, разлом.

УДК 550.8.056

К. Тройніч, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: k.stan@i.ua

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ SIRT ДЛЯ ІНВЕРСІЇ ДАНИХ ГРАВІМЕТРІЇ

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

У роботі запропоновано використання методу одночасної ітеративної реконструктивної томографії (SIRT) для інверсії гравіметричних даних. SIRT базується на методі Качмажа, який дозволяє ітеративним шляхом вирішувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь виду $At = p$, де вектор відомих значень p є результатом добутку матриці коефіцієнтів A на вектор шуканих параметрів t , значення яких оцінюються з точки зору найменших квадратів невязки.

Вираз для гравітаційного впливу комірки моделі можна розділити на два множники, один з яких залежить від густини, а інший – від положення точки спостереження по відношенню до комірки (геометрії). Як наслідок – розв'язання прямої задачі гравірозування, з точки зору лінійної алгебри, може бути представлене через множення матриці на вектор, де вектор гравітаційних впливів є результатом множення матриці геометричних коефіцієнтів на вектор густин. Метод SIRT може бути застосований для вирішення задачі інверсії – знаходження розподілу густини за спостереженнями гравітаційним полем шляхом вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Через затухаючу природу геометричних коефіцієнтів з глибиною в результаті розв'язання задач інверсії даних гравірозування часто отримують моделі, у яких всі аномальні маси скупчені в приповерхневій частині. Для того, щоб компенсувати затухання геометричних коефіцієнтів, їх значення множаться на степеневу функцію від глибини із певним емпіричним множником у показнику функції. Такий підхід дозволяє примусово розповсюджувати аномальні маси рівномірно вздовж осі глибин.

Проведено аналіз результатів інверсії гравітаційного поля прямокутного паралелепіпеда за допомогою методу найменших квадратів, методу найменших квадратів з авторегуляризцією, методом SIRT як без, так і з компенсацією значень матриці за глибину залегання комірок. Показано, що метод SIRT може бути успішно використаний для інверсії гравітаційних даних, якщо матрицю геометричних коефіцієнтів помножити на спеціальну функцію від глибини, яка компенсує швидке затухання геометричних коефіцієнтів та протидіє скупченню аномальних мас біля поверхні.

Подальший розвиток запропонованого підходу полягає у розв'язанні задачі комплексної інверсії даних сейсморозування та гравірозування у вигляді однієї системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Ключові слова: гравірозування, інверсія, томографія, моделювання.

Вступ. Інверсія гравіметричних даних полягає в знаходженні розподілу густини досліджуваного середовища за спостереженнями гравітаційним полем, що дозволяє оцінювати геологічну будову та речовинний склад в межах досліджуваної області. Інверсія гравіметричних даних дозволяє вирішувати велику кількість наукових та прикладних задач пов'язаних з визначенням розподілу мас в досліджуваній частині середовища. Серед них можна виділити встановлення глибинної будови Землі, вирішення задач пошуків та розвідки родовищ рудних корисних копалин, моніторинг розробки родовищ вуглеводнів тощо.

Існує велика кількість методів інверсії гравіметричних даних, огляд яких можна знайти в роботі, присвяченій розвитку гравіметричного методу [3]. Розвиток інверсії гравіметричних даних пов'язаний із такими прізвищами та дослідницькими колективами: Bott, Danes, Oldenburg, Jorgensen and Kisabeth, Nagihara and Hall, Cheng et al., Pedersen, Moraes and Hansen, Green, Last and Kubik, Guillen and Menichetti, Li and Oldenburg, Li, Zhdanov et al., Krahenbuhl and Li, Zhang et al. [2, 3]. Автор даної статті спирається на роботи Li and Oldenburg [5, 6].

У даній роботі автор пропонує застосування методу одночасної ітеративної реконструктивної томографії (SIRT), який широко використовується для інверсії даних сейсмометрії, для виконання інверсії гравітаційних даних. SIRT базується на методі Качмажа [4], який був запропонований для вирішення перевизначених систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Також значний вклад у можливість реалізації запропонованого автором методу вносить ідея [6] із введення вагових коефіцієнтів для протидії занадто швидкому згасанню гравітаційного впливу комірки моделі із глибиною.

Існуючі алгоритми інверсії гравітаційних даних орієнтовані на самостійне вирішення задачі інверсії лише гравітаційних даних. Більшість цих алгоритмів може бути використана та використовується для комплексної інверсії гравітаційних та сейсмічних даних шляхом мінімізації функціоналу невязки окремих систем рівнянь, як це показано в роботі [9]. Метою даної статті є створення такого алгоритму інверсії гравітаційних даних, який

дозволить поєднати сейсмічні та гравітаційні дані в одну систему рівнянь.

Дана робота написана в рамках дослідницької теми "Розробка теорії та методології побудови динамічних геолого-геофізичних моделей геологічних об'єктів і процесів", яка виконується на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вирішення поставленої в роботі задачі дозволить перейти до наступного кроку досліджень, а саме до комплексної томографічної інверсії даних сейсморозвідки та гравірозування, що дозволить вирішувати широке коло задач нафтогазової геології та глибинних досліджень Землі.

Теоретичні основи методу. До гравітаційного поля можна застосувати принцип суперпозиції, який полягає у тому, що спостережене гравітаційне поле в заданій точці є сумою гравітаційних впливів всіх існуючих мас на цю точку. Іншими словами, якщо ми маємо декілька геологічних тіл з аномальними густинами по відношенню до вмісних порід, то гравітаційний вплив цих тіл можна представити як комбінацію гравітаційних впливів кожного окремого тіла. Ця властивість гравітаційного поля є дуже корисною для вирішення прямої задачі гравірозування, оскільки геологічне середовище з тілами довільної форми з деякою похибкою можна представити у вигляді набору тіл простої геометричної форми, а гравітаційний вплив у точці O з просторовими прямокутними координатами (x_0, y_0, z_0) записати в наступному вигляді:

$$g_z = g_1 + g_2 + \dots + g_i + \dots + g_N \quad (1)$$

де g_z – сумарний гравітаційний ефект N тіл в точці $O = (x_0, y_0, z_0)$; g_i – гравітаційний ефект i -го тіла в точці O ; $i = [1, N]$.

Більшість аналітичних виразів для гравітаційного ефекту тіл простої геометричної форми із постійною густиною в межах тіла можна розділити на дві складові: густину σ та деякий геометричний фактор F , що залежить від розмірів тіла та його положення відносно точки O , в якій розраховується гравітаційний ефект від даного тіла. Покажемо це на прикладі аналітичного виразу гравітаційного поля прямокутного паралелепіпеда, грані якого співпадають з напрямками осей прямокутних координат:

$$g = \gamma \sigma \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 \left[\mu_{klm} \left[\Delta x_k \ln(\Delta_l + R_{klm}) + \Delta y_l \ln(\Delta_k + R_{klm}) - \Delta z_m \arctan\left(\frac{\Delta x_k \Delta y_l}{\Delta z_m R_{klm}}\right) \right] \right] \quad (2)$$

де $\mu_{klm} = (-1)^k (-1)^l (-1)^m$, $\Delta x_k = x_k - x_o$, $\Delta y_l = y_l - y_o$, $\Delta z_m = z_m - z_o$, $k, l, m = [1, 2]$ – різниця координат між точкою спостережень та вершинами призм, $R_{klm} = \sqrt{\Delta x_k^2 + \Delta y_l^2 + \Delta z_m^2}$ – відстань між точкою спостереження $O = (x_o, y_o, z_o)$

Співвідношення (2) може бути переписано як

$$g = F\sigma, \quad (3)$$

де F – геометричний фактор впливу комірки на точку спостереження, σ – значення густини в цій комірці.

Таким чином (1) з урахуванням (3) може бути переписано як:

$$g_z = F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + \dots + F_i\sigma_i + \dots + F_N\sigma_N \quad (4)$$

З точки зору лінійної алгебри, співвідношення (4) є добутком вектора-рядка на вектор-стовпчик. Якщо ж необхідно розрахувати гравітаційний ефект в декількох точках простору, то таку операцію можна показати у вигляді векторного добутку матриці **A** на вектор **m**. Тобто вирішення прямої задачі гравірозвідки в матричній нотації можна представити у вигляді.

$$p = Am \quad (5)$$

Якщо елементи вектора **p** відомі, а вектора **m** – ні, то співвідношення (5) є системою лінійних алгебраїчних рівнянь виду $Am = p$, вирішуючи яку ми вирішуємо задачу інверсії даних гравірозвідки, тобто знаходимо розподіл густини за відомим значенням гравітаційного поля.

Для того, щоб не робити жодного припущення про форму аномалієутворювальних тіл частину простору, що досліджується, можна розділити на елементарні комірки, наприклад, прямокутні паралелепіпеди. Оскільки розміри прямокутних паралелепіпедів та їх положення відносно точок із спостереженням гравітаційним полем задаються як параметри моделі – можна розрахувати матрицю геометричних коефіцієнтів **F** та вирішувати задачу інверсії даних гравірозвідки, вирішуючи систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Необхідно зазначити, що для вирішення такої задачі робиться припущення, що спостережене гравітаційне поле викликане аномальними масами лише в межах досліджуваної області.

Оскільки геофізичні спостереження містять випадкові похибки та кількість рівнянь при вирішенні оберненої задачі найчастіше не співпадає з кількістю невідомих для вирішення рівняння (5) намагаються знайти таке рішення, яке задовольнятиме всі спостереження в сенсі найменшої суми квадратів нев'язок між спостереженням та розрахованим полем. Для підвищення стабільності розв'язку використовують різні види регуляризації [8]

Серед недоліків більшості методів вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом найменших квадратів можна виділити наступні: для обчислень необхідна велика кількість обчислень та значний об'єм комп'ютерної пам'яті, неможливість вирішення задачі при сильно розріджених матрицях, неможливість задавати перше наближення тощо.

Для вирішення задачі інверсії гравіметрії автор пропонує використовувати метод SIRT, що знайшов широке застосування в обчислювальній комп'ютерній томографії та сейсмічній томографії. Перевага даного методу полягає в тому, що він дозволяє виконувати операції над рядками незалежно один від одного, що дає можливість по-перше вирішувати системи рівнянь дуже великих розмірів (адже в кожен момент часу в оперативній пам'яті комп'ютера необхідно зберігати лише один рядок матриці) та, по-друге, незалежність операцій над рядками дозволяє виконувати обчислення не послідовно, а паралельно, що значно збільшує швидкість обчислень.

У випадку сейсмічної променевої томографії оновлення швидкісної моделі відбувається на основі методу SIRT (який опосередковано використовує метод Качмажа) та обчислюється за формулою [7]:

$$\Delta m_n = \frac{1}{W_n} \sum_{w=1}^W S_{wn} \frac{\Delta p_w}{\sum_{n=1}^N S_{wn}^2}, n = 1, \dots, N \quad (6)$$

де Δw_{mn} – поправка повільності в n -й комірці для w -го променя, S_{wn} – довжина пробігу w -ї хвилі в межах n -ї комірки, Δp_w – різниця між спостереженням та обчисленим часами пробігу w -го променя; W – кількість променів, N – кількість комірок в моделі.

Автор роботи пропонує застосовувати формулу (6) для вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (5), змінивши при цьому вектор часів пробігів сейсмічних хвиль на вектор значень аномального гравітаційного поля, вектор повільностей на вектор густин та матрицю довжин пробігів хвиль на матрицю геометричних факторів.

Вагові коефіцієнти. Формулу методу SIRT можна розуміти як розподілення нев'язки між спостереженням та обчисленим значенням проекції між окремими складовими пропорційно до внеску кожної комірки моделі, через яку проходить проекція. Але на відміну від променевої сейсмічної томографії, де промені проходять тільки через незначну кількість комірок – у гравірозвідці всі комірки моделі вносять свій вклад у розраховане гравітаційне поле. Це призводить до того, що нев'язка в одній точці спостереження буде розподілятися по всім коміркам, спадуючи до значень, якими можна знехтувати при значній відстані від точки, у якій розраховується поле. Інший важливий наслідок цієї властивості гравітаційного поля описаний в серії класичній робот з інверсії гравітаційного та магнітного полів Li Oldenburg [5, 6], яка полягає в тому, що при інверсії всі аномальні маси (або магнітні маси) мають тенденцію скупчуватись у верхній частині розрізу. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано ввести емпіричний ваговий коефіцієнт, який штучно змушує розподіляти маси по глибині. Таким чином було досягнуто цілком прийнятних результатів інверсії.

Таким чином, матрицю геометричних коефіцієнтів для розрахунку прямої задачі ми модифікуємо помноживши кожен елемент матриці на функцію $(z+z_o)^{-\beta/2}$ (параметрами β та z_o при цьому підбираються емпірично окремо для кожної моделі) [6]. В результаті досліджень автор прийшов до висновку, що співвідношення $(z/z_o)^{\beta/2}$ є більш практичним, оскільки параметр z_o можна просто задати як глибину залягання середини комірок, що знаходяться в верхній частині моделі.

Модельний приклад. Як модельний приклад обрано класичну задачу, описану в монографії [1] – прямокутний паралелепіпед, грані якого не співпадають із гранями комірок, на які поділяється досліджувана частина простору. Як вхідні дані використовується гравітаційний ефект однорідного за аномальною густиною прямокутного паралелепіпеда, без додавання регіонального фону (чиста аномалія) та без додавання випадкових завад (ідеальні спостереження).

Для порівняння роботи алгоритму було обрано інші алгоритми вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь таких як: звичайний метод найменших квадратів, метод найменших квадратів з авторегуляризцією Тихонова та Пікарда-Джонсона. Усі ці алгоритми втілені у вигляді програмного коду Рондалом Джонсом та описані у його роботі [8]. На рис. 1а наведено результати інверсії за допомогою звичайного методу найменших

квадратів. Результат інверсії незадовільний, оскільки значення комірок мають знакоперемінний характер та цілком не відповідають моделі. Метод найменших квадратів з авторегуляризациєю за Р. Джонсоном (рис. 1б) дав набагато кращі результати, де контур прямокутника простежується, але по краях моделі присутні артефакти. Метод SIRT без компенсації геометричних факторів за глибину комірки (рис. 1в) показав схожі результати до метода найменших квадратів з авторегуляризациєю. Проте контур аномалієутворювального тіла прослідковується гірше, ніж у попередньому випадку. Метод SIRT з компенсацією геометричних факторів за глибину ко-

мірки (рис. 1г) показав найкращі результати з точки зору візуального виділення контуру аномалієутворювального тіла, проте густини у приповерхневій частині моделі не відповідають дійсності. Слід зазначити, що це може бути пов'язано із тим, що в якості першого наближення для всіх тестів задавалась модель з однаковою (нульовою чи довільно вибраною від'ємною) аномальною густиною. Кращі результати можуть бути досягнуті при коректнішому першому наближенні та залученні апріорної інформації в якості обмеження (у даних прикладах не накладається жодних обмежень на можливі значення параметрів комірки).

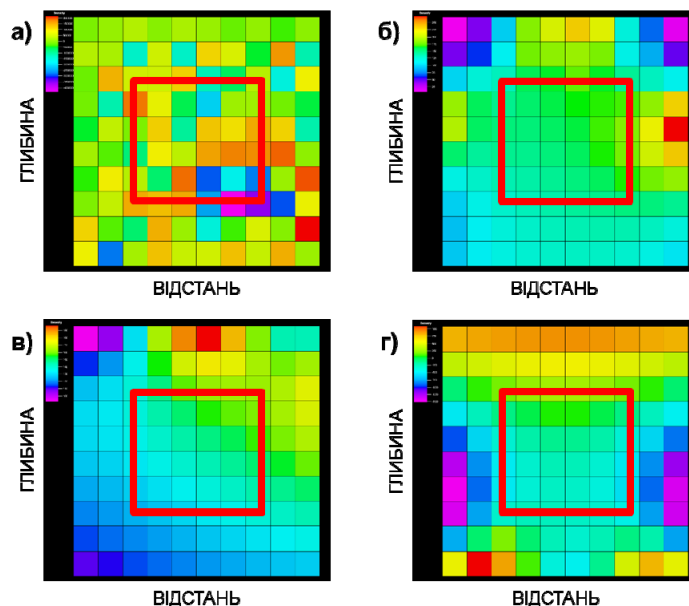


Рис. 1. Результати інверсії ідентичних вхідних даних різними методами розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь:

а – звичайний метод найменших квадратів, б – метод найменших квадратів з авторегуляризациєю за Р. Джонсоном, в – метод SIRT без компенсації геометричних факторів за глибину комірки, г – метод SIRT з компенсацією геометричних факторів за глибину комірки. Прямокутником по середині моделі зображено місце положення прямокутного паралелепіпеда однорідної густини, гравітаційний ефект якого було використано як вхідні дані

Висновки. З модельного прикладу видно, що метод SIRT цілком застосовний до інверсії гравітаційних даних. Результат інверсії залежить від вибраних вагових коефіцієнтів, першого наближення та параметрів обмеження моделі, але ці фактори не є визначальними. Також вирішальну роль грає розмір комірок: їх кількість має забезпечувати перевизначеність системи лінійних алгебраїчних рівнянь для можливості застосування методу SIRT.

Основна перевага запропонованого методу полягає не у самостійній інверсії гравіметричних даних, але у принциповій можливості об'єднання гравіметричних та сейсмометричних даних в одну систему лінійних алгебраїчних рівнянь та вирішення задачі інверсії комплексу геофізичних даних одним методом. В цьому автор бачить подальший розвиток та області застосування методу.

Список використаних джерел

1. Корбунов А. И. Теория интерпретации данных гравиметрии для сложнопостроенных сред / А. И. Корбунов. – К: УМК ВО, 1989. – 102 с.
2. Ha'az, I. Relations between the potential of the attraction of the mass contained in a finite rectangular prism and its first and second derivatives / I. Ha'az // *Intezet Geofiz. Kozlemenyek*. – 1953. – № 7. – P. 57–66.
3. Historical development of the gravity method in exploration / M. N. Nabighian, M. E. Ander, V. J. S. Grauch et al. // *Geophysics*. – 2005. – № 6. – P. 63ND–89ND.
4. Kaczmarz, S. Approximate solution of systems of linear equations / S. Kaczmarz // *International Journal of Control*. – 1993. – № 6. – P. 1269–1271.
5. Li, Y. 3-D inversion of gravity data / Y. Li, D. W. Oldenburg // *Geophysics*. – 1996. – № 1. – P. 109–119.

K. Troinich, Postgraduate Student
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

6. Li, Y. 3-D inversion of magnetic data / Y. Li, D. W. Oldenburg // *Geophysics*. – 1996. – № 7. – P. 394–408.
7. Lo, T. Fundamentals of Seismic Tomography / T. Lo, P. Inderwiessen. – SEG, Geophysical Monograph Series, 1994. – 187 p.
8. Rondall, J. E. Automatically regularized nonnegative solutions for illconditioned linear systems / J. E. Rondall // *Inverse Problems in Engineering Seminar*, Ames IA, Jul 26–27 2006. – P. 1–13.
9. Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media / T. N. Bishop, K. P. Bube, R. T. Cutler et al. // *Geophysics*. – 1985. – № 50(6). – P. 903–923.

References

1. Korbunov, A.I. (1989). *Teoriia interpretatsii dannykh gravimetrii dlia slozhnopostroennykh sred*. Kyiv: UMK VO. [in Russian].
2. Ha'az, I. (1953). Relations between the potential of the attraction of the mass contained in a finite rectangular prism and its first and second derivatives. *Intezet Geofiz. Kozlemenyek*, 7, 57–66.
3. Nabighian, M.N., Ander, M.E., Grauch V.J.S. et al. (2005). Historical development of the gravity method in exploration. *Geophysics*, 6, 63ND–89ND.
4. Kaczmarz, S. (1993). Approximate solution of systems of linear equations. *International Journal of Control*, 6, 1269–1271.
5. Li, Y., Oldenburg, D.W. (1996a). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 1, 109–119.
6. Li, Y., Oldenburg, D.W. (1996b). 3-D inversion of magnetic data. *Geophysics*, 7, 394–408.
7. Lo, T., Inderwiessen, P. (1994). Fundamentals of Seismic Tomography SEG. *Geophysical Monograph Series*, 187.
8. Rondall, J.E. (2006). Automatically regularized nonnegative solutions for illconditioned linear systems. In *Inverse Problems in Engineering Seminar*, Ames IA, Jul 26–27 2006. (pp. 1–13).
9. Bishop, T.N., Bube, K.P., Cutler, R.T. et al. (1985). Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media. *Geophysics*, 50(6), 903–923.

Надійшла до редколегії 19.08.15

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

ON USING SIRT METHOD FOR GRAVITY INVERSION DATA

This paper proposes to use simultaneous iterative reconstruction technique (SIRT) for the gravity data inversion. SIRT is based on Kaczmarz method and allows to solve systems of linear algebraic equations via iterative update of parameters vector. Method gives a solution which fits the observed data vector and changed its first guess in the least squares sense.

Relationship for the gravitational attraction of a cell could be split into two multipliers. First multiplier depends on density and second multiplier depends on observation point location against cell (geometrical factor). As a result gravity forward modeling could be described as multiplication of matrix by vector. A gravitational attraction vector is a multiplication of geometrical factors matrix by a densities vector. SIRT could be used for the inverse of this operation, in other words estimation of the densities vector is based on the gravitational attraction vector. From the math point of view it is a solving of a system of a linear equations.

Because of geometrical factors decay with depth inversion solution often gives a model where all anomalous masses lay in a shallow part of investigated section or volume. In order to contradict reminded decay geometrical factors should be multiplied by a special power function of depth. By doing this we force anomalous masses to be disposed even along depth axis.

Synthetic data inversion proved possibility of using SIRT for gravity data inversion. Better results could be earned using depth weighting of the geometrical factors. Further development of method could be found for the simultaneous inversion of seismic and gravity data as one system of linear equations.

Keywords: gravity method, inversion, tomography, modeling.

К. Тройнич, асп.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА SIRT ДЛЯ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ГРАВИМЕТРИИ

В работе предлагается использование метода одновременной итеративной реконструкционной томографии (SIRT) для инверсии гравиметрических данных. SIRT основан на методе Качмажа, который позволяет итеративным способом решать системы линейных алгебраических уравнений вида $Am = p$, где вектор известных значений p является результатом умножения матрицы A на вектор искомого параметра m , значения которых и оцениваются.

Соотношение для гравитационного эффекта ячейки модели можно разделить на два сомножителя, один из которых зависит от плотности, а другой от положения точки наблюдения относительно ячейки (геометрии). Вследствии этого решение прямой задачи гравиразведки с точки зрения линейной алгебры можно представить в виде умножения матрицы на вектор, где вектор гравитационных эффектов является результатом произведения матрицы геометрических коэффициентов на вектор плотностей. Метод SIRT может быть использован для решения обратной задачи – нахождения распределения плотностей по наблюдаемому гравитационному полю путём решения системы линейных алгебраических уравнений.

Вследствии затухающей природы геометрических факторов с глубиной решение обратной задачи гравиразведки часто дает модели, в которых все аномальные массы сконцентрированы в приповерхностной части. Для того, чтобы компенсировать затухание геометрических коэффициентов их значения умножаются на показательную функцию глубины с определённым эмпирическим множителем в показательной части функции. Такой подход позволяет принудительно распределять аномальные массы равномерно вдоль оси глубин.

Проведен анализ результатов инверсии гравитационного поля прямоугольного параллелепипеда с использованием метода наименьших квадратов, метода наименьших квадратов с авто-регуляризацией, методом SIRT как без, так и с компенсацией значений матрицы геометрических коэффициентов за глубину положения ячеек. Показано, что метод SIRT может быть успешно использован для инверсии гравитационных данных, если матрицу геометрических коэффициентов умножить на специальную функцию глубины, которая компенсирует быстрое затухание геометрических коэффициентов и препятствует скоплению аномальных масс в приповерхностной части.

Дальнейшее развитие предложенного подхода заключается в решении задачи комплексной инверсии данных сейсморазведки и гравиразведки в виде одной системы линейных алгебраических уравнений.

Ключевые слова: гравиразведка, инверсия, томография, моделирование.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.98

В. Гулій, д-р геол.-мінералог. наук
E-mail:vgul@ukr.netІ. Побережська, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
E-mail:irina_pober@ukr.netЛьвівський національний університет імені Івана Франка
вул. М. Грушевського, 4, м. Львів, Україна, 79005А. Локтєв, зав. відділу
Геолого-тематичний центр УкрНДІгаз, смт. Угерське, Україна

"МОЛОДИЙ ГАЗ" В РИФТОГЕННИХ СТРУКТУРАХ УКРАЇНИ

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

Метою проведених робіт було встановлення просторових і генетичних зв'язків вуглеводневих концентрацій з системами мантійних розломів і зон сучасних та древніх рифтів. При дослідженні використовувались геодинамічні моделі формування основних структурних елементів України, обґрунтування ознак виділення і аналіз рифтогенних структур, визначення серед них найбільш перспективних із проявленими газовими колонами та наявними концентраціями вуглеводнів і покладів "молодого газу" з ознаками впровадження нових порцій газу.

Проведено аналіз геодинамічних моделей та тектонічна типізація перспективних рифтогенних структур України з аналізом розподілу в їх межах перспективних ділянок з промисловими покладами вуглеводнів, показано значення періодичних впроваджень нових порцій вуглеводнів, які збільшують наявні ресурси об'єктів або ж підтримують їх на певному сталому рівні. Виявлено характер зв'язків виникнення промислових покладів вуглеводнів з специфічними умовами формування рифтогенних структур України та показано пульсаційний характер притоку нових порцій "молодого газу".

Наведено методику прогнозування та можливої локалізації потенційно важливих промислових об'єктів вуглеводневих концентрацій при пошуках родовищ, приурочених до рифтогенних структур. Базуючись на геологічних моделях формування "газових колон", як складових процесу утворення родовищ вуглеводнів, пропонується послідовність поєднання різних геофізичних методів для виявлення "газових колон" та локалізації покладів із різними за продуктивністю ділянками. Останнє можливе лише за умови використання високоточної об'ємної сейсморозвідки і гравітаційної зйомки. Підтверджено поповнення наявних ресурсів вуглеводнів за рахунок додаткових порцій глибинних вуглеводнів в родовищах "молодого газу".

Ключові слова: рифтогенез, "молодий газ", палеорифти України, абіогенний генезис вуглеводнів, прогнози покладів вуглеводнів, газова колона, геофізичні дослідження.

Вступ. В останні десятиліття, завдяки великим успіхам у геодинамічних дослідженнях різнотипних геологічних структур [18], сформовано і запропоновано низку геодинамічних моделей [19], які дають можливість ув'язати їх структурну і тектонічну еволюцію і визначити ймовірність формування сприятливих умов для різнотипної мінералізації та покладів вуглеводнів [20]. Зокрема, в крупних лужних масивах Кольського півострова в ході системних довгострокових досліджень виявлені потоки глибинних флюїдів, склад яких відмінний від ймовірних джерел в цих масивах [12], а картування гелієвих аномалій на сьогодні є звичним при пошуках перспективних родовищ не тільки нафти і газу, але і алмазів чи благородних металів. Крім цього, встановлено масштабність і довгу тривалість проявів таких потоків. Визначальну роль в таких геодинамічних побудовах відіграють кількісні характеристики геохімічних показників, тектонофізичні оцінки, стан флюїдних систем, тощо [20], що дало можливість запропонувати для окремих регіонів загальні геолого-структурні та геофізичні моделі [21], а для окремих структур з вуглеводневими концентраціями – інструмент для дослідження їх походження [22].

Феномен "молодого газу" став об'єктом спеціального вивчення в останню четверть віку [17]. Під терміном "молодий газ" прийнятно вважати перш за все його антропогенні концентрації у формі родовищ і проявів. Газові поклади цього віку встановлені в низці регіонів Світу [14] і поділяються на дві групи: 1 – самостійні, що утворюють нові родовища, і 2 – додаткові поклади на площах відомих газових і нафтогазових родовищ палеозой-неогенового віку.

В абіогенній теорії генезису родовищ вуглеводнів, практичне використання якої починається з побудови газової колони [8], допускається багаторазове впровадження мас глибинного газу у різні періоди формування

земної кори, у тому числі і на сучасному етапі [9]. Виявлено також просторовий зв'язок нафтогазоносних басейнів з системами мантійних розломів, де важливу роль відіграють зони древніх і сучасних рифтів [11]. Саме тому автори статті зробили спробу розглянути умови концентрації "молодого газу" в тектонічно активних районах України – рифтогенних структурах.

І. Рифтогенні структури України та їх нафтогазоносність. До рифтогенних відносяться структури, утворені протяжними мантійними розломами, які переживали многократні тектонічні подвиги при утворенні осадової товщі. Визначальними рисами рифтогенів є: великі потужності осадків, розвиток базальтоїдного магматизму, карбонатних порід, соляних товщ і соляного тектоногенезу, сітка різноамплітудних і різновікових розломів.

У межах України виділено дві рифтогенні структури: Дніпровсько-Донецький рифейсько-девонський палеорифт і Галицько-Кримський рифей-тріасовий краєвий палеорифт [4]. При цьому вважається, що віковий діапазон вказує перш за все на час максимуму активізації ендегенних процесів – становлення зон астеносферних розломів, мантійних діапирів і магноутворення в земній корі. Тектонічні процеси в палеорифтах далі продовжувались: розвивався соляний тектоногенез, ускладнювались сітки розломів в осадових товщах.

Дніпровсько-Донецький палеорифт. Просліджується в північно-західній частині більш крупної рифтогенної структури, лінеamentу Карпінського [7]. В межах України знаходяться Дніпровсько-Донецька западина і Донецький масив (рис. 1). Серією повздовжніх і поперечних глибинних розломів ці структури розбиті на низку тектонічних блоків в кристалічному фундаменті. Повздовжній центральний розлом астеносферного закладення просліджується по всьому палеорифту.

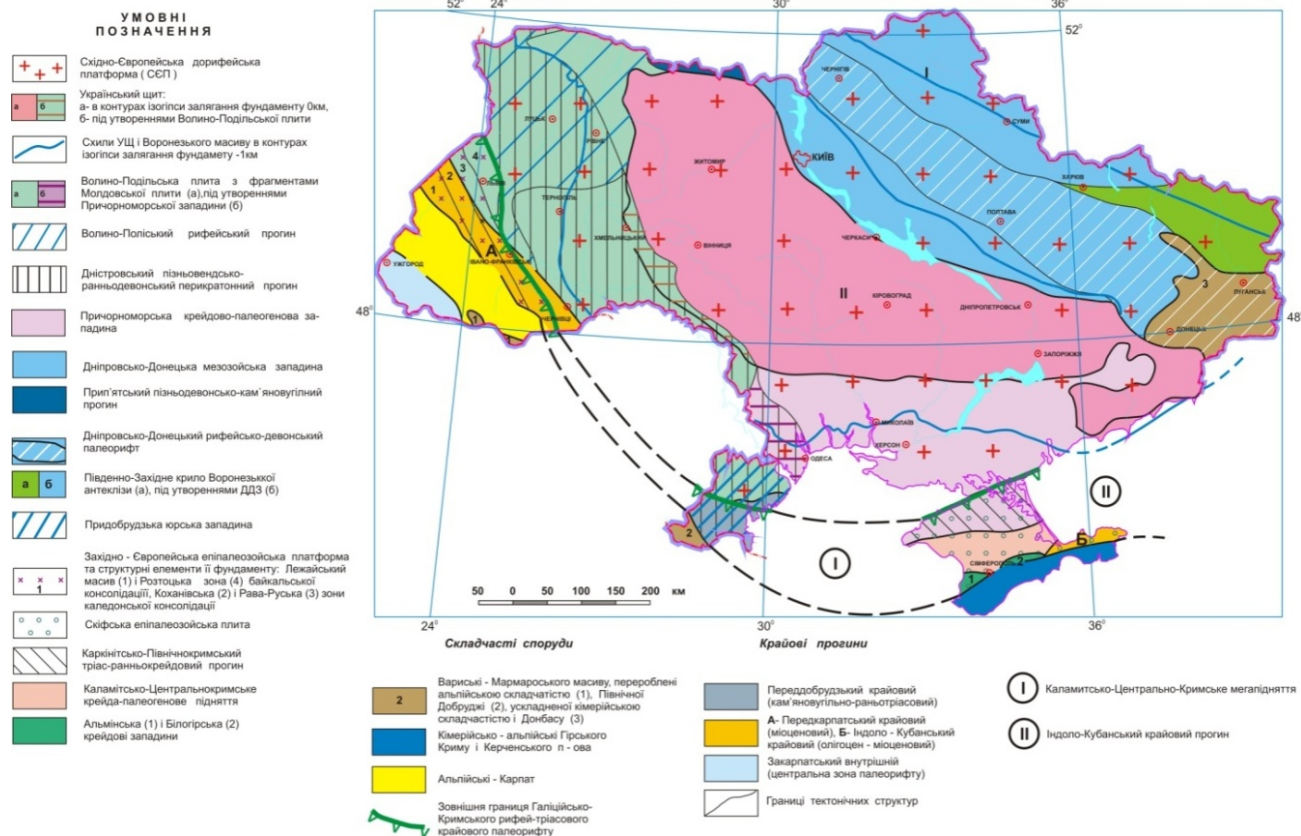


Рис. 1. Схема тектонічного районування України (за [4])

Складно побудований грабен між двома підняттями – Чернігівським виступом і Донецьким масивом – утворює значних розмірів западину – Дніпровсько-Донецьку. Відмінною її рисою є розвиток потужної осадової товщі (до 11 км), в якій переважає ефузивно-осадовий (солоний) комплекс девону (потужністю до 3-4 км). Він повсюдно перекивається теригенними і карбонатно-теригенними відкладами карбону, місцями їх потужність одного порядку з девоном.

Верхи розрізу палеозою представлені теригенно-солоносою пермською товщею потужністю до 2,5 км. Відклади мезокайнозую прослідковуються в повному віковому діапазоні – від триасу до пліоцену. Четвертинний покрив (алювій річних долин, глини і покривні суглинки водорозділів) мають невелику потужність – до декількох десятків метрів.

Розвиток тектонічної активності в рифтогені проходив у такій послідовності: 1) утворення зони центрального астеносферного розлому (рифей-девон); 2) відкладення теригенно-вугленосної товщі карбону, розвиток соляного тектоногенезу; 3) розширення зони центрального розлому в кінці палеозою, формування приосьової зони впадини; 4) подальший розвиток зони астеносферного розлому – утворення прибортової зони в мезозої; 5) утворення зон прибортових розломів у фазі альпійського тектоногенезу. Соляні маси девонських і пермських відкладів в різні фази тектоногенезу утворювали численні соляні куполи.

У Дніпровсько-Донецькій западині відомі більше двох сотень родовищ нафти і газу. В прибортових і бортових зонах, утворених в альпійську тектонічну епоху, розвинуті нафтогазоносні і газоконденсатні родовища. Переважають об'єкти із малими, рідше середніми запасами. Газоконденсатні родовища центральної зони утворюють головний ресурсний потенціал газу регіону – тільки на 17 із них (Машівсько-Шебелинський газоносний район) підраховані запаси газу складають

1350 млрд м³ [1–3], переважають крупні газоконденсатні родовища.

У зоні астеносферного розлому, яка пересічена низкою поперечних глибинних порушень, розташована більшість родовищ з встановленими або ж такими, де намічаються, концентрації "молодого газу".

Галицько-Кримський рифтоген. Визначальною рисою будови Галицько-Кримського рифтогену є існування потужної товщі мезокайнозую – флішової формації верхньої крейди-палеогену, потужністю до 4000 м, і карбонатно-теригенної товщі неогену (до 3000 м). У розрізі палеозою переважає сульфатно-карбонатно-теригенна товща. Низи розрізу складені солонотеригенними породами девону-рифею [1, 2].

Виділяються такі тектонічні зони:

1. **Центральна частина рифтогену** (зона астеносферного розлому). Розповсюджена в Закарпатті (Закарпатський прогин), просліджується далі на південний-схід на територію Румунії і в акваторії Чорного моря (рис. 1).

Закарпатський прогин за своєю природою є типовим виступом рифтогену: поверхня Мохо просліджується на глибинах 25–30 км, частково розвивається мантійна структура, теплове поле характеризується високими значеннями – до 80-100 МВт/м². Характеристики щільності виступу вказують на процеси розуцільнювання порід верхньої мантії і низів осадової товщі. Одиночні прояви газу в Закарпатті можна розглядати як ореольні, що супроводжують ще не відкриті поклади на глибині [5].

Від прибортової частини рифтогену його центральна частина відділяється системою ступінчастих розломів.

2. **Прибортова частина** (зона мезокайнозойської активізації). До неї відносяться масиви Складчастих Карпат, Добруджі та Гірського Криму, а також протяжна система валів і впадин в акваторії Чорного моря. В цій частині рифтогену відомі тільки два невеликих газових родовища в Карпатах, які, імовірно, є концентраціями ореольного типу [1, 2]. Від бортової зони прибортова

частина відділяється системою розломів (Кременецьких насувів).

3. Зона альпійських (бортових) розломів рифтогену – віковий аналог зони північного борту Дніпровсько-Донецької западини, де розвинуті нафтові і газові родовища. Вона займає Прикарпатський і Північно-Добруджинський прогини і частину Скіфської плити.

Нафтові родовища в альпійській зоні розломів прослідковуються на всій її протяжності: в Бориславо-Покутському районі (Передкарпаття), родовища Добруджі і Керченського півострова. Вони займають порівняно вузьку смугу на північ від зони граничних розломів прибортової зони. В іншій частині зони розвинуті переважно газові і газоконденсатні родовища. Всього відомо 83 родовища в Передкарпатському, 4 – в Добруджинському прогинах і 37 – в межах Скіфської плити. При цьому значна частина покладів, виявлених бурінням, може бути ореольними концентраціями [5].

II. Умови концентрації "молодого газу". Принципова схема нафтогенезу – нафтогазонакопичення для умов ДДЗ розроблена О.Ю. Лукіним [10]. Вона передбачає такий віковий діапазон утворення родовищ вуглеводнів: 1 – тверді бітуми (час утворення на рубежі D-C); 2 – мальти і важка нафта (C-P); 3 – нафти (T₁-T₂); 4 – газоконденсати (постміоценові утворення). В цій схемі, яка в цілому не викликає сумнівів з точки зору абіогенної теорії генезису родовищ вуглеводнів, потрібно зробити такі уточнення: 1 – нафтиди в палеозої в інтенсивному герцинськомутектоногенезі не зберегли типових рис газових колон, де вони утворюють значні концентрації в крайових частинах. У цих умовах вони практично не відрізняються від досліджуваних покладів всередині колони; 2 – наявність вуглеводневих і літогеохімічних аномалій над "пустими" структурами можна пояснити не тільки цілковитим руйнуванням покладів, але й локальними вторинними змінами порід газового ореолу.

Газоконденсатні поклади центральної частини ДДЗ залягають переважно в інтервалі глибин від 4 до 6,5 км у різновікових комплексах карбону. При цьому система розривних порушень, визначаючих вік тектонічних екранованих покладів за даними сейсморозвідки, часто проявляється до відкладів крейди включно (Шебелинське, Кегічевське, Західно-Єфремівське, Східно-Медведівське та інші родовища). Інтенсивний розвиток різноамплітудних розривних порушень спостерігається і у верхніх горизонтах розрізу осадової товщі – до пліоцену і антропогену включно: тектонічним процесам зобов'язані рухи соляних мас – від "росту" куполів до утворення депресійних воронок над кепроками [6].

Газоконденсатні поклади характеризуються проявом аномально високих (надгідростатичних) пластових тисків і об'ємними опріснених гідрокарбонатно-натрієвих вод (мінералізація менше 20 мг/л), які залягають серед розсолів і є метастабільними утвореннями. Граничний вік утворення цих вод може бути розрахований за рівняннями дифузійного вирівнювання концентрацій розчинених солей [13]. За такими розрахунками вік газоконденсатних покладів у більшості родовищ (Мачуське, Горобцівське, Яблунівське, Скоробогачківське, Рудовське, Перевозівське та інші) істотно менше 1млн років – мінімум в межах 50тис років [10].

Ще більш молодий вік газу виявляється на Шебелинському і Пролетарському родовищах, де визначений приріст запасів до 11 млрд м³ за період 2002–2008 рр, що свідчить про сучасне відновлення запасів (відновлені поклади). До подібних родовищ слід віднести і Рудовсько-Червонозаводське. Повністю відновлені запаси Черняхівського і Білоусівського родовищ [17].

Таким чином, для "молодого газу" намічаються такі умови концентрації: 1. Утворення нових постпліоценових покладів, у тому числі й суттєво нових родовищ; 2. "Підкачка" додаткових порцій газу в поклади, що сформувались раніше; 3. Площі газоносних структур в центральній частині Дніпровсько-Донецького рифтогену досягають декількох квадратних кілометрів кожна, вони практично розвинуті вздовж зони астеносферного розлому.

Склад газових покладів нових постпліоценових концентрацій "молодого газу" (родовища Мачуське, Горобцівське, Скороходське, Скоробогачківське) (8): CH₄ – 93-95% об'єм., C₁-C₅ – 3,16–5,2; N₂ – 0,10-1,29; He – 0,01-0,014; CO₂ – 0,45-2,79. Початковий пластовий тиск в покладах – в межах 71-107,3 МПа, температура – 410,3-447,0°K. Початковий дебіт – порядку тисяч м³ за добу, запаси газу – до 10-11 млрд м³.

У нових покладах відомих родовищ у центральній частині рифтогену (Яблунівське, Гнідинцівське, Лелеківське, Свиридівське родовища) склад газів дещо інший (% об'єм.): CH₄ – 81-65; C₁-C₅ – до 11-15; N₂ – до 5; CO₂ – до 6,5. Початкові пластові тиски укладаються в рамки 35-55 МПа, пластові температури – 392-415°K. Запаси газу в таких родовищах сягають 67,6 млрд м³ (Яблунівське родовище).

Наведені вище параметри покладів характерні для центральної частини рифтогену, для його прибортових частин і зон альпійських бортових розломів площі родовищ вірогідно зменшуються, як і величини запасів газу; параметри імовірних покладів "молодого газу" близькі до таких концентрацій у разі "підкачки". Останнє справедливе і для зон альпійських розломів Галицько-Кримського рифтогену [1, 2].

III. Генезис концентрацій "молодого газу" в світлі абіогенної теорії. Джерелом газу є астеносфера Землі [7], яка продукує потоки ендегенних флюїдів у верхній мантії. В результаті відбувається дегазація надр з утворенням концентрацій газів: водню, метану, азоту, гелію, вуглекислого газу, ртуті. Дегазація надр супроводжується вулканізмом (гаряча дегазація) в епохи тектогенезу і постійно – у вигляді пульсацій, викликаних реакціями в ядрі Землі (холодна дегазація) [15].

Ендегенні потоки H₂, CH₄ та інших газів у атмосфері Землі – об'єктивна реальність, підтверджена інструментальними замірами. Потоки в атмосфері над рифтовими зонами на два порядки переважають об'єми потоків із інших геоструктурних зон [15]. Ці потоки, як показали спостереження над розповсюдженням озонного шару в атмосфері Землі, є основною причиною утворення "озонових дір". Глибинна природа потоків ендегенних газів підкреслюється ізотопними співвідношеннями в них: ³He/⁴He = n×10⁻⁵, δ¹³C = -41-43‰. При цьому, величина уцілювання вуглецю метану близька до його характеристик в ендегенних утвореннях (-39,1‰), тоді як у біогенному метані значення δ¹³C знаходяться в межах: -66 – -100‰ [15].

Важливим бачиться питання про можливість проходження газового потоку через породу в тектонічно порушених зонах рифтогенів. Лабораторними дослідженнями встановлено, що газ із водневою складовою проходить через породу, знаходячись в рівноважному стані, тобто процеси переходять в дифузійну область і слабо реагують з породою [16]. Іншими словами, флюїд із мантії, пройшовши відстані в десятки і навіть сотні кілометрів по розрізу літосфери і її поверхні, практично зберігає фізико-хімічні властивості і склад.

Порівняно мала тривалість процесу утворення і концентрації "молодого газу" в розрізі газової колони збільшує точність розрахунку її реперів, які визначаються по існуючих параметрах геофізичних полів [7]. Слід ви-

знати встановленим фактом, що для проникнення через потужну осадову товщу западин речовини астеносфери необхідні високі значення тисків і температур потоку "молодого газу", особливо при формуванні його самостійних покладів. Дещо менші очікуються ці значення у випадку утворення додаткових покладів, і ще менші – у випадках "підкачки" уже відомих, часто складно побудованих покладів (горизонтів) розвіданих родовищ.

У рифтогенах нові родовища молодого газу розповсюджені тільки в зонах центральних астеносферних розломів, осьових і приосьових їх частинах, де відбувається і найбільш інтенсивна "підкачка" раніше сформованих покладів.

Впровадження газових потоків підпорядковується ритмам "газового дихання" Землі і, скоріш за все, залежить від гравітаційного впливу [15].

IV. Можливі масштаби поповнення ресурсів вуглеводнів за рахунок "молодого газу". Встановлено, що на Шебелинському родовищі запаси газу збільшуються як мінімум на 3-5 млрд м³ на рік (при початкових запасах в 650 млрд м³). Всього за 10 років тимчасової зупинки експлуатації родовища його запаси поповнились приблизно на 40 млрд м³ [17]. Отже, Шебелинське родовище, початок формування якого відноситься до кimmeriйської тектонічної епохи, може служити прикладом "підкачки" газу в розвідані раніше поклади. Це цілком справедливо і для інших, компактно розташованих родовищ Машівсько-Шебелинського району (всього 17 родовищ). Підраховані запаси газу родовищ району складають 1347 млрд м³ [3]. Очікуване поповнення запасів, якщо прийняти дані по Шебелинському родовищу, – приблизно 6% за 10 років, буде складати 8 млрд м³ на рік.

Кількість запасів газу в інших газоконденсатних родовищах подібного віку і родовищах, що сформувались в альпійську тектонічну епоху значно перевищують запаси Машівсько-Шебелинського нафтогазоносного району.

Висновки:

1. Вирішення прогностичних та пошукових завдань при дослідженні перспектив нафтогазоносних територій повинно базуватись на аналізі геодинамічних моделей, оцінці еволюції процесу рифтогенезу конкретної структури, виділенні сприятливих факторів геодинамічної еволюції району.

2. "Молодий газ" в рифтогенах України утворює цілком нові родовища, а також нові поклади в розвіданих об'єктах в зонах центральних астеносферних розломів.

3. Системи розломів в рифтогенних структурах забезпечують регулярну "підкачку" газу в раніше сформовані поклади кimmeriйської і альпійської тектонічних епох. Концентрація газу забезпечується регулярними впровадженнями, що підпорядковуються ритмам газового дихання Землі.

4. Річні об'єми "підкачаного" газу в рифтогенах України можуть досягати значних об'ємів (десятків млрд м³ у рік).

Список використаних джерел

1. Атлас родовищ нафти і газу України (Західний нафтогазоносний регіон). – Львів: Центр Європи, 1998. – Т. 4. – 327 с.; Т. 5. – С. 334–705. – (Українська нафтогазова академія).
2. Атлас родовищ нафти і газу України (Південний нафтогазоносний регіон). – Львів: Центр Європи, 1998. – Т. 6. – 223 с. – (Українська нафтогазова академія).
3. Атлас родовищ нафти і газу України (Східний нафтогазоносний регіон). – Львів: Центр Європи, 1999. – Т. 2. – 932 с.; Т. 3. – 1416 с. – (Українська нафтогазова академія).
4. Байсарович М. М. Атлас: "Глибина будова літосфери та екологія України" / М. М. Байсарович. – К.: НАНУ, 2002. – 54 с.
5. Гулій В. Перспективи газонасності Коханівської структури (до практичного використання теорії абіогенного генезису родовищ вуглеводнів у Передкарпатському прогині) / В. Гулій, Г. Лепігов // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 2(150). – С. 201–205.
6. Лепігов Г. Д. Геохимические условия формирования серопроявлений Днепровско-Донецкой впадины : автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. наук / Лепігов Г. Д. – К., ИГФМ, 1976. – 24 с.

7. Лепігов Г. Д. Нафта лінеamentу Карпінського (деякі аспекти абіогенного генезису вуглеводнів) / Г. Д. Лепігов, В. М. Гулій // Геолог України. – 2009. – № 4. – С. 93–98.

8. Лепігов Г. Д. Геологічна модель передумов концентрації глибинного метану у вугленосних товщах / Г. Д. Лепігов, С. І. Орлів, В. М. Гулій // 36. наук. праць Ін-ту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – 2008. – № 3. – С. 11–17.

9. Лепігов Г. Д. Концентрація вуглеводнів в Донбасі в світлі абіогенної теорії їх генезису / Г. Д. Лепігов, С. І. Орлів, В. М. Гулій // Геолог України. – 2008. – № 3. – С. 73–79.

10. Лукін А. Прямые поиски нефти и газа : причины неудач и пути повышения эффективности / А. Лукін // Геолог України. – 2004. – №3. – С. 18.

11. Маевський Б. Нафтогазоносні провінції світу / Б. Маевський, М. Євдощук, О. Лозинський. – К.: Наукова думка, 2002. – 403 с.

12. Нивин В. А. Газовые компоненты в магматических породах: геохимические, минералогические и экологические аспекты и следствия (на примере интрузивных комплексов Кольской провинции) : автореф. дисс. на соискание науч. степени докт. геол.-мин. наук / Нивин В. А. – М., 2013. – 48 с.

13. Резников А. Н. Определение возраста гидротерм кинетико-геохимическим методом / А. Н. Резников // Литология и полезные ископаемые. – 1994. – № 4. – С. 105–118.

14. Созанский В. И. О неисчерпаемости мировых запасов нефти и газа // Мировые ресурсы и запасы газа и перспективные технологии их освоения / В. И. Созанский, П. Н. Чепель, Дж. Ф. Кенни // Матер. I Междунар. науч. практ. конф., Москва, 26–27 ноября 2007 г. – М.: ВНИИГаз, 2007. – С. 66–68.

15. Сывороткин В. Л. Экологические аспекты дегазации Земли : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. наук / Сывороткин В. Л. – М.: МГУ, 2001. – 29 с.

16. Флюидный режим земной коры и верхней мантии / Ф. А. Летников, И. К. Карпов, А. И. Киселев, Б. О. Шкандрий. – М.: Наука, 1977. – 216 с.

17. Чепіль П. М. Друге життя родовищ нафти і газу України – міф чи реальність / П. М. Чепіль // Мінеральні ресурси України. – 2008. – № 2. – С. 37–38.

18. Burke K. Hot spots on the Earth's surface / K. Burke, J. T. Wilson // Sci. Amer. – 1976. – № 235. – P. 46–57.

19. Davis P. M. Continental rift structures and dynamics with reference to tectonic studies of the Rio Grande and East African rifts / P. M. Davis // Tectonophysics. – 1991. – 197, № 2/4. – P. 309–325.

20. Sibson R. H. Crustal stress, faulting and fluid flow / R. H. Sibson // Extended abstr. of Int. conf. on fluid evolution, migration and interaction in rocks. – Torquay, England, 1997. – P. 137–139.

21. Stovba S. Structural Features and Evolution of the Dnieper-Donets Basin, Ukraine, from Regional Seismic Reflection Profiles / S. Stovba, R. A. Stephenson, N. K. Kivshik // Tectonophysics. – 1996. – 270, № 2/4. – P. 87–103.

22. Tissot B. T. Petroleum Formation and Occurrences / B. T. Tissot, D. H. Welte. – Berlin: Springer, 1984. – 699 p.

References

1. Ukrainian Oil and Gas Academy. (1998). *Atlas of oil and gas fields of Ukraine (Western Oil-and-Gas-Bearing Region)*. (Vol. 4-5). Lviv: Center of Europe. [in Ukrainian].
2. Ukrainian Oil and Gas Academy. (1998). *Atlas of oil and gasfields of Ukraine (South Oil-and-Gas-Bearing Region)*. (Vol. 6). Lviv: Center of Europe. [in Ukrainian].
3. Ukrainian Oil and Gas Academy. (1999). *Atlas of oil and gas fields of Ukraine (Eastern Oil-and-Gas-Bearing Region)*. (Vol. 2-3). Lviv: Center of Europe. [in Ukrainian].
4. Baisarovich, M.M. (2002). *Atlas: "Deep structure of lithosphere and ecology of Ukraine"*. Kyiv: NASU. [in Ukrainian].
5. Guliy, V., Lepigov, G. (2010). Prospects of gas-bearing potential field of the Kokhanivka structure in the Carpathian Foredeep of Ukraine. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 2 (150), 201–205. [in Ukrainian].
6. Lepigov, G.D. (1976). Geochemical conditions of sulfur manifestation formation in the Dnieper-Donets depression. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv, IGFМ. [in Russian].
7. Lepigov, G.D., Guliy, V.M. (2009). Oil of the Karpinskyi's lineament (some aspects of the abiogenic hydrocarbons genesis). *Ukrainian Geologist*, 4, 93–98. [in Ukrainian].
8. Lepigov, G.D., Orlov, S.I., Guliy, V.M. (2008). Geological model of dept methane concentration in coal bearing sequences. *Transactions of the Institute of Geotechnical mechanics of the NAN Ukraine*, 11–17. [in Ukrainian].
9. Lepigov, G.D., Orlov, S.I., Guliy, V.M. (2008). Hydrocarbons concentration in the Donbas light of the abiogenic theory of their genesis. *Ukrainian Geologist*, 3, 73–79. [in Ukrainian].
10. Lukin, A. (2004). Direct prospects of oil and gas: causes of failures and ways to improve of efficiency. *Ukrainian Geologist*, 3, 18. [in Russian].
11. Maievskiy, B., Yevdoschuk, M., Lozynskiy, O. (2002). *Oil and gas provinces of world*. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian].
12. Nivin, V. A. (2013). Gas components in magmatic rocks: geochemical, mineralogical and ecological aspects and results (as an example of the intrusive formations of the Kola peninsula provenance). *Extended abstract of Doctor's thesis (Geol.-Min.)*. Moscow: GEOHI. [in Russian].
13. Reznikov, A.N. (1994). Age determination of hydrotherms by kinetic-geochemical method. *Lithology and Raw materials*, 4, 105–118. [in Russian].
14. Sozanskiy, V.I., Chepel, P.N., Kenny, G.F. (2007). On in exhaustible world resources of oil and gas. World resources and reserves of gas and perspective technologies of its utilization. *Proceedings of the I International*

Science and Practice Conference, Moscow, 26–27 Nov., 2007. (pp. 66–68). Moscow: VNIIGAS. [in Russian].

15. Syvortkin, V.L. (2001). Ecological aspects of the Earth degassing. *Extended abstract of candidate's thesis* (Geol.-Min.). Moscow, MSU. [in Russian].

16. Letnikov, F.A., Karpov, I.K., Kyselev, A.I., Schkandriy, B.O. (1977). *Fluids regime of the Earth crust and upper mantle*. Moscow: Nauka. [in Russian].

17. Chepel, P.M. (2008). Second life of oil and gas fields of Ukraine – myth or reality. *Mineral resources of Ukraine*, 2, 37–38. [in Ukrainian].

18. Burke, K., Wilson, J.T. (1976). Hot spots on the Earth's surface. *Sci. Amer.*, 235, 46–57.

19. Davis, P.M. (1991). Continental rift structures and dynamics with reference to teleseismic studies of the Rio Grande and East African rifts. *Tectonophysics*, 197(2/4), 309–325.

20. Sibson, R.H. (1997). Crustal stress, faulting and fluid flow. *Extended abstr. of Int. conf. on fluid evolution, migration and interaction in rocks*. (pp. 137–139). Torquay, England.

21. Stovba, S., Stephenson, R.A., Kivshik, N.K. (1996). Structural Features and Evolution of the Dnieper-Donets Basin, Ukraine, from Regional Seismic Reflection Profiles. *Tectonophysics*, 270(2/4), 87–103.

22. Tissot, B.T., Welte, D.H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrences*. Berlin: Springer, 699 p.

Надійшла до редколегії 06.09.15

V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Head of Department
E-mail: vgul@ukr.net

I. Poberezhskaya, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.
E-mail: irina_pober@ukr.net

Department of Petrography, Faculty of Geology
Ivan Franko National University of Lviv
4 Grushevskogo Str., Lviv, 79005, Ukraine

A. Loktev, Head of Department
Geological-investigation Center UkrNDIlgas
Ugerske, Ukraine

'YOUNG GAS' IN RIFT'S STRUCTURES OF UKRAINE

Aim. Determination of space and genetic relationships between hydrocarbons concentrations and systems of mantle fractures and zones of modern and ancient rifts was purpose of conducted investigations.

Methods. Geodynamics models of formation of main structural elements of Ukraine as well as analysis of rift structures of Ukraine, establishing of the most perspective among them with developed gas columns and real concentrations of hydrocarbons and deposits of 'young gas' with evidences of new portions of hydrocarbon flows have been used in this investigations.

Results. Analysis of geodynamic models and tectonic systematic of prospective rift structures of Ukraine with determination of their distribution in the limits of perspective sectors with industrial deposits of hydrocarbons has carried out. Importance of new portions of hydrocarbons flows, which increase real resources of deposits or keep its on relatively stable levels was shown.

Scientific news. Character of relationships between occurrence of new industrial hydrocarbons deposits and specific conditions of rift structures formation as well as rhythmic features of portions of 'young gas' have been established.

Practical importance. Method of prognostic and possible localization of important industrial objects with hydrocarbons concentrations that can be use for exploration in gas-oil industry are discussed. Based on the geological models of formation of gas columns as stage of of hydrocarbon industrial field generation, combination of different geophysical methods has been proposed to establish real gas columns in sectors with different resources. It is possible only with using the methods of high resolution seismic and gravitational surveys. Additional supply of hydrocarbon resources available by new portions of deep flows of 'young gas' is proved.

Keywords: formation of rifts, 'young gas', paleorifts of Ukraine, abiogenic origin of hydrocarbons, exploration of hydrocarbons deposits, gas columns, geophysical survey.

В. Гулий, д-р геол.-минералог. Наук
E-mail: vgul@ukr.net,

И. Побережская, канд. геол.-минералог. наук, доц.
E-mail: irina_pober@ukr.net

Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. М. Грушевского, 4, г. Львов, 79005, Украина

А. Локтев, зав. отделом
Геолого-тематический центр УкрНИИГаз
смт. Угерское, Украина

"МОЛОДОЙ ГАЗ" В РИФТОГЕННЫХ СТРУКТУРАХ УКРАИНЫ

Целью проведенных работ было установление пространственных и генетических связей углеводородных концентраций с системами мантийных разломов и зон современных и древних рифтов. При исследованиях использовались геодинамические модели формирования основных структурных элементов Украины, обоснования признаков выделения и анализ рифтогенных структур, определение среди них наиболее перспективных с проявленными газовыми колоннами и наличными концентрациями углеводородов и залежей "молодого газа" с признаками проникновения новых порций газа.

Проведены анализ геодинамических моделей и тектоническая типизация перспективных рифтогенных структур Украины с анализом распределения в их пределах масштабных участков с промышленными залежами углеводородов, показано значение периодического внедрения новых порций углеводородов, которые увеличивают наличные ресурсы объектов или же поддерживают их на определенном стабильном уровне. Выявлен характер связей возникновения промышленных залежей углеводородов со специфическими условиями формирования рифтогенных структур Украины и показан пульсационный характер притока новых порций "молодого газа".

Изложена методика прогнозирования и возможной локализации потенциально важных промышленных объектов углеводородных концентраций при поисках приуроченных к рифтогенным структурам месторождений. Основываясь на геологических моделях формирования газовых колонн как составных процесса формирования месторождений углеводородов, предлагается последовательность совмещения различных геофизических методов для выявления газовых колонн и локализации залежей с участками разной продуктивности. Последнее возможно только при условии использования высокоразрешающей объемной сейсморазведки и гравитационной съемки. Подтверждено пополнение наличных ресурсов углеводородов за счет последующих порций глубинных углеводородов в месторождениях "молодого газа".

Ключевые слова: рифтогенез, "молодой газ", палеорифты Украины, абиогенный генезис углеводородов, прогнозы залежей углеводородов, газовая колонна, геофизические исследования.

УДК 552; 553.495

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

УРАНОВА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ В ПЕГМАТИТАХ РЕГІБАТСЬКОГО ЩИТА (ТЕРЕЙН ТАЗІАСТ-ТІДЖІРІТ), МАВРИТАНІЯ

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

Мавританія стає одним із головних стратегічних об'єктів Західної Африки для пошуків нових родовищ корисних копалин. На даний час на території країни за участі іноземних компаній ведеться активна розвідка таких корисних копалин, як залізо, мідь, золото, уран, алмази, рідкісні та рідкісноземельні елементи та інші. Наші дослідження проводились у межах терейну Тазіаст-Тіджіріт, що являє собою північно-західну частину архейського блоку Регібатського щита. Основні типи порід, що поширені на території терейну, – це мігматити та ортогнейси, присутні також зеленокам'яні асоціації та інтрузії гранітоїдів. Порооди даного масиву мають мезоархейський вік.

У полях пегматитів, що поширені серед тіл мігматитів та амфіболітів, було виявлено прояв уранової мінералізації, який є перспективним для детального вивчення. Пегматити мають типову середньо-гігантнокристалічну структуру. Основними мінералами є: плагіоклаз (олігоклаз-альбіт), кварц, калієвий польовий шпат, біотит, гранат, циркон, сфен, монацит, магнетит, ільменіт, мінерали урану та торію.

Для визначення морфології зерен та елементного складу уранових мінералів був використаний рентгеноспектральний (мікрозондовий) аналіз. Як основні мінерали, що містять уран, встановлено: уранофан, ураноторит та бранерит. Уранофан був виявлений у декількох формах – вторинний, що утворений внаслідок дії метасоматичних процесів, у пілоподібній формі, разом з дрібними виділеннями галеніту, та у структурі розпаду твердого розчину разом з ураноторитом. Останній має у своєму складі суттєву домішку рідкісноземельних елементів як церієвої, так і ітрієвої групи. Бранерит виявлений лише у пілоподібній формі на периферії біотитових зерен.

Отримані результати свідчать про високий потенціал терейну Тазіаст-Тіджіріт для пошуку та розвідки на досліджуваній території нових уранових родовищ.

Ключові слова: рентгеноспектральний аналіз, пегматити, уранові мінерали, Ісламська республіка Мавританія.

Геологічна будова регіону досліджень. Регібатський щит являє собою північну частину Західноафриканського кратону. За віком утворення його розділяють на дві частини: західну архейську, складену породами віком більше 2,5 млрд р, та східну палеопротерозойську. Терейн Тазіаст-Тіджіріт є крайньою західною ділянкою

архейської частини Регібатського щита (рис. 1). На півночі даний комплекс обмежений каледонськими та герцинськими спорудами Мавританід, а на півдні насупною зоною відокремлений від комплексу Амсага або терейну Чум-Раг Абюд (Choum Ragel Abiod), за деякими дослідниками [5].

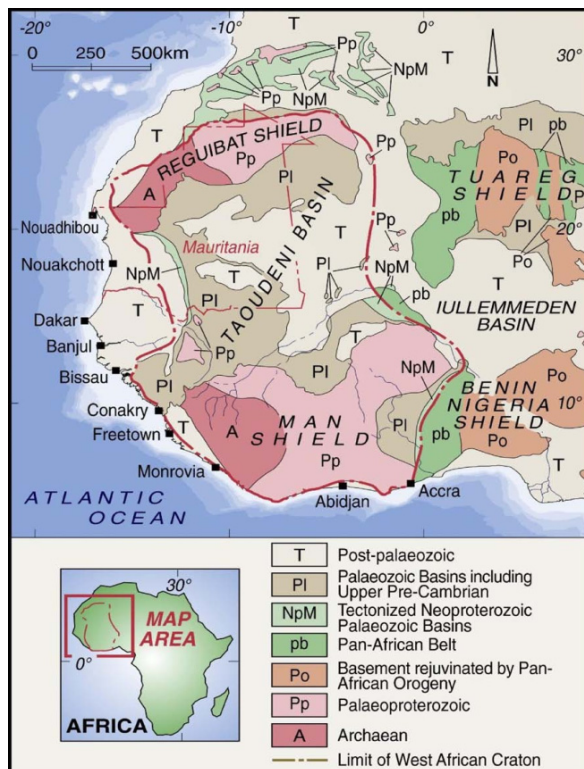


Рис. 1. Регібатський щит на геологічній карті Західної Африки (за Fabre, 2005 [5])

Всього на території Мавританії налічується близько 80 уранових рудопоявів, які зосереджені, в основному, у гранітах та осадовому шарі. На даний час відомі три родовища урану у гранітах та дев'ять уранових родовищ калькретового типу із загальними ресурсами 183,8 млн т із середнім вмістом U_3O_8 310 ppm [3]. Біль-

шість з них приурочена до палеопротерозойської частини Регібатського щита, хоча відомі також і у архейській [4]. Прояви урану, що пов'язані з гранітами, як правило, знаходяться серед або в одному напрямку з головними розломними зонами, які простягаються в північно-західному напрямку.

Геологічну будову терейну Тазіаст-Тіджіріт можна вважати недостатньо вивченою. На це вплинули як історичні фактори, так і кліматичні. Мавританія останні десятиліття переживала період декількох воєнних конфліктів, які заважали нормальному стабільному розвитку економіки країни і в результаті – інвестиціям в геологічне освоєння території. Лише у 2009 році після президентських виборів та стабілізації політичної ситуації в країні іноземні компанії отримали можливість з меншим ризиком для власного капіталу працювати над розвідкою нових перспективних площ на території Мавританії.

Другим негативним фактором, який заважав геологічному освоєнню країни, є те, що більша частина Мавританії, і, відповідно, Регібатського щита, занесена пісками пустелі Сахара. Тому якісні геологічні дослідження можливо проводити тільки у місцях, де він добре відслонюється і не знищений ерозійними процесами. На досліджуваній території яскравим прикладом цього є наявність двох протяжних ланцюгів дюн під назвою Азефал та Акчар, які вкривають центральну частину терейну Тазіаст-Тіджіріт, майже унеможливаючи проведення тут геологічного картування.

Одними з перших дослідників, які провели у 1963 р вивчення літологічного складу та визначення абсолютно віку порід терейну Тазіаст-Тіджіріт, були Bonnici та Giraudon [1]. Більш комплексне вивчення даної території у своїх роботах провів Chardon (1997), який займався як структурним аналізом, так і дослідженням геохронології порід. Картуванням даної території в свій час займалися Maurin та Broner (1997), Artignan (2000), Key та Loughlin (2003). Найбільш повну характеристику терейну Тазіаст-Тіджіріт дав Key (2008), який окрім проведення абсолютного датування порід також прослідкував етапи формування геологічних структур в межах терейну.

Усі комплекси порід, представлених у терейні Тазіаст-Тіджіріт, можна умовно поділити на три групи:

1) мігматитові гнейси з древніми лінзами амфіболітів та, в деяких випадках, граніто-гнейси;

2) зеленокам'яні породи, які складають сім зеленокам'яних поясів у межах терейну;

3) інтрузії гранітоїдів, які утворились після зеленокам'яних поясів і серед яких переважають біотитові тоналіти або гранодіорити (включаючи плутони із вторинним епідотом), масивні граніти та малі пегматитові мусковітові граніти, що є наймолодшими інтрузіями.

Породи терейну мають мезоархейський вік. Гнейси та гранодіоритові плутони мають вік 2,97 млрд р (U-Pb) [2], а також мають схожу Sm-Nd модель віку від 3,05 до 3,10 млрд р.

Також комплексне датування U-Pb, Zr-Hf та Sm-Nd методами провів Key [5]. За його результатами епідотизовані тоналіти терейну Тазіаст-Тіджіріт мають вік за U-Pb методом 2912 ± 35 млн р, $Hf T_{DM} = 3075 \pm 67$ млн р ($\epsilon Hf = 1,8 \pm 1,8$ (2σ), $Nd T_{DM} = 3079$ млн р ($\epsilon Nd = 0,6$). Гранітний плутон має вік за U-Pb методом 2933 ± 16 млн р, $Hf T_{DM} = 3029 \pm 70$ млн р ($\epsilon Hf = 3,5 \pm 1,9$ (2σ), $Nd T_{DM} = 3066$ млн р ($\epsilon Nd = 1,1$). Вік кислих вулканітів зеленокам'яного поясу Шамі складає за U-Pb методом 2965 млн р. Неодимове датування ($Nd T_{DM} = 2996$, $\epsilon Nd = 2,5$), проведено цим же дослідником, вказує на те, що ця вулканічна порода має мантийне походження з малим вмістом або взагалі без корового матеріалу. Дещо інші значення отримав Chardon [2], який визначив вік вулканітів цього поясу по Nd від 3,05 до 3,6 млрд р, та відзначив наявність в їхній структурі древнішого корового матеріалу.

Отже, мігматитові ортогнейси, які поширені на всій території терейну, є найдревнішим комплексом порід, серед яких розвинулись молодші зеленокам'яні пояси та плутони гранітоїдів.

Досліджувана територія представляє собою північно-західну частину терейну Тазіаст-Тіджіріт. Відслоненість даної території досить слабка, виходи гранітоїдів мають форми невеликих піднять (висотою до десятка метрів) (рис. 2), які піднімаються серед рівнинної пустелі, яка майже повністю вкрита гравійно-піщаним матеріалом. Відслонення мають гладку поверхню за рахунок вітрової ерозії.

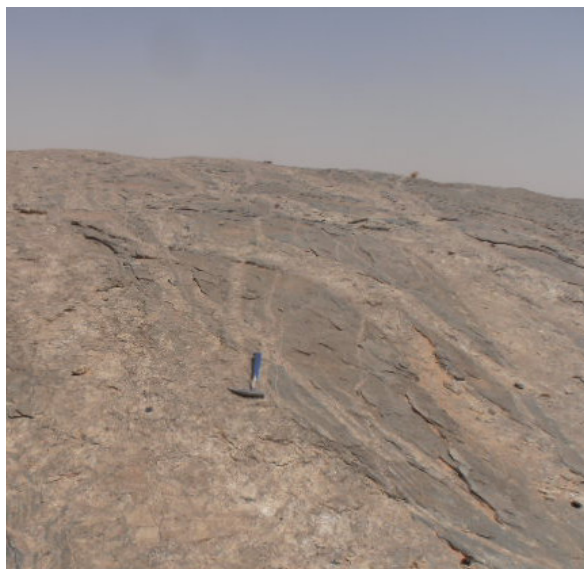


Рис. 2. Поля пегматитів терейну Тазіаст-Тіджіріт (фото В.М. Загнітка)

Рудопрояв урану приурочений до ділянки інтенсивного розвитку пегматитових жил, які поширені, головним чином, серед тіл мігматитів, та, в деяких випадках, амфіболітів. Пегматитові поля поширені майже на всіх досліджених відслоненнях та, як правило, мають декілька генерацій пегматитових жил. Пегматити мають колір від сніжно-білого до червоного. Деякі з них дося-

гають ширини декількох метрів. Молодші за етапом впровадження жили розсікають більш древні, що свідчить про існування інтенсивних тектонічних процесів, які супроводжували формування цих порід.

Методика проведення робіт. Досліджувані породи – двопольовошпатові гранітні пегматити, які розповсюджені серед тіл мігматитів та амфіболітів. З пегматито-

вих жил терейну Тазіаст-Тіджіріт були відібрані зразки, які проявляли підвищений радіаційний фон при дослідженні їх геофізичними методами. Після попереднього макроскопічного опису зразків порід, з них було виготовлено ряд пришліфованих штуфів, які були поміщені на чутливу до рентгенівського випромінювання плівку для проведення радіографії. Отримані відбитки на радіографії підтвердили наявність мінералів, що проявляють ознаки радіоактивності. В подальшому, вони були використані для визначення позиції розташування радіоактивних мінералів при проведенні рентгеноспектрального (мікрозондового) аналізу.

Результати досліджень. Всі уранові мінерали можна поділити на дві великі групи: відновлені різновиди, що містять переважно більшість чотирьохвалентного урану, та окиснені, які вміщують, в основному, шестивалентний уран. Шестивалентний уран є більш стабільним і формує розчинний уранільний комплекс UO_2^{2+} , що відіграє провідну роль в урановій мобільності. При дослідженні пегматитів було виявлено як мінерали шестивалентного урану у складі силікатів – уранофан, так і чотирьохвалентного у складі оксидів – ураноторит та бранерит.

Структура пегматитів – типова середньо-гігантокристалічна. Порода катаклазована, що проявляється у роздрібненні великих зерен кварцу та польового шпату. Лужний натрієвий польовий шпат помітно переважає над кислим калієвим. Серед основних мінералів у даних по-

родах присутні: плагіоклаз (олігоклаз-альбіт), кварц, калієвий польовий шпат, біотит, гранат, циркон, сфен, монацит, магнетит, ільменіт, мінерали урану та торію.

За результатами рентгеноспектрального (мікрозондового) аналізу було визначено декілька мінеральних форм, які вміщують уран. Самостійних виділень ураніту як основного економічно цінного мінералу знайдено не було, хоча можна допустити його наявність у пилоподібній формі в агрегатах урановмісних мінералів. Про це може свідчити наявність високих концентрацій урану в деяких точках виміру.

Уранофан $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{HSiO}_4]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – є найбільш поширеним урановим мінералом у досліджуваних породах. Він добре діагностувався навіть при макроскопічному описі завдяки своєму характерному жовтому кольору. При проведенні мікрозондового аналізу було зафіксовано декілька форм його виділення.

Перша форма виділення представлена прожилкоподібними включеннями між зернами кварцу та польових шпатів (рис. 3а). Такий уранофан має видовжену форму та чіткі контакти з оточуючими мінералами. Довжина прожилків інколи досягає десятих частин міліметра. Його хімічний склад відносно стабільний по всій площі виділення (табл. 1). Такий тип виділення уранофану є вторинним по відношенню до сформованих мінералів та є доказом існування метасоматичних процесів при формуванні даної породи.

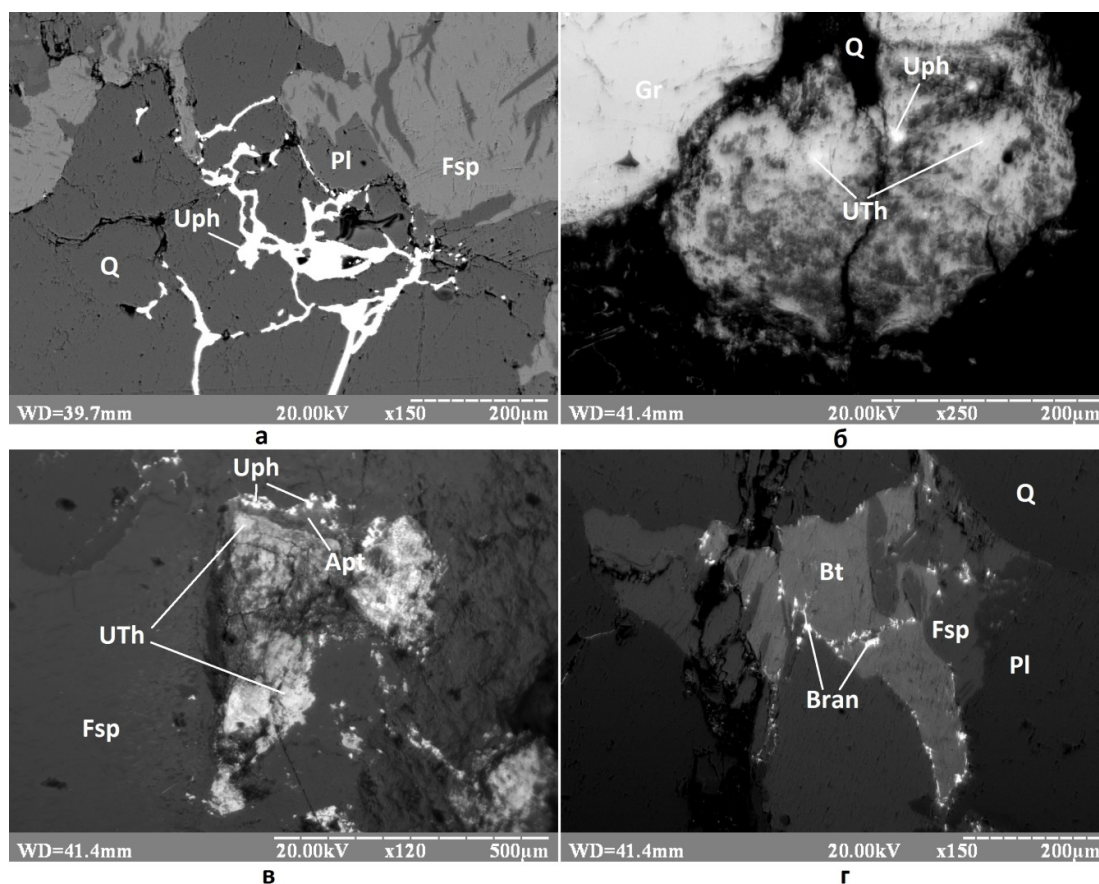


Рис. 3. Фото досліджуваних мінералів у режимі відбитих електронів:

а – уранофан у прожилках, б – уранофан та ураноторит у структурі розпаду твердого розчину, в – уранофан та ураноторит з високим вмістом РЗЕ, г – бранерит навколо зерна біотиту

Друга форма виділення уранофану поширена разом з ураноторитом в окремих зернах розміром до 0,3 мм. Контакти між зернами цих двох уранових мінералів нечіткі, вони плавно переходять один в інший з поступовою зміною хімічного складу (рис. 3б). Темніші плями на

даному зерні характеризують домішку силікатного матеріалу. Така форма виділення характерна для структур розпаду твердого розчину, коли розділення мінералів на окремі фази не відбулося через недостатні умови для їх кристалізації.

Таблиця 1

Результати мікрозондового дослідження уранових мінералів у пегматитах терейну Тазіаст-Тіджіріт, мас. %

Мінерал	Уранофан			Ураноторит				Бранерит	
№ зразка	1	2	3	4	5	6	7	8	10
SiO ₂	11,14	7,49	12,84	10,38	10,48	11,11	16,2	12,66	14,72
TiO ₂								27,92	28,48
Al ₂ O ₃		0,41	1,15		0,2	0,99	2,43	3,92	4,26
FeO	0,18	0,23	0,3	0,19	0,21	0,44	1,57	4,85	7,04
MnO			0,08						0,23
MgO	0,87			1,49		0,8	0,41	0,36	1,19
CaO	8,17	4,62	5,47	1,63	2,48	7,44	3,42	8,74	9,06
Na ₂ O			0,31	1,34					0,19
K ₂ O	1,38	1,32	2,32	0,18	0,15	1,09	0,38	0,94	0,63
P ₂ O ₅				1,05	2,73	4,61	2,89		
ThO ₂		0,29		56,39	59,48	57,85	12,05		
UO ₂	77,89	74,15	57,02	7,4	10,57	8,91	7,6	28,34	25,37
PbO	0,17	10,88	20,52	0,68	0,85	1,74	8,53	11,37	8,84
La ₂ O ₃				0,22				0,15	
Ce ₂ O ₃	0,12			5,85	5,8	0,39	40,98	0,18	
Pr ₂ O ₃	0,04			0,66		0,02			
Nd ₂ O ₃				1,5	0,89	1,17	0,63		
Sm ₂ O ₃				1,16					
Gd ₂ O ₃	0,04			1,49					
Y ₂ O ₃		0,62		6,88	6,16	3,45	2,91	0,57	
ZrO ₂				1,53					
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Структурна формула при перерахунку									
	7 атомів О			4 атоми О				6 атомів О	
Si	0,98	0,9	1,35	0,589	0,594	0,567	0,762	0,722	0,791
Ti								1,197	1,15
Al		0,059	0,145		0,014	0,061	0,137	0,268	0,274
Fe	0,013	0,023	0,026	0,009	0,01	0,019	0,061	0,231	0,316
Mn			0,007						0,01
Mg	0,114			0,126		0,061	0,029	0,031	0,095
Ca	0,77	0,595	0,616	0,099	0,15	0,407	0,172	0,534	0,521
Na			0,063	0,147					0,02
K	0,155	0,202	0,311	0,013	0,011	0,071	0,023	0,068	0,043
P				0,05	0,131	0,199	0,115		
Th		0,008		0,728	0,767	0,672	0,123		
U	1,524	1,982	1,333	0,093	0,133	0,101	0,079	0,359	0,303
Pb	0,004	0,352	0,581	0,01	0,013	0,024	0,108	0,175	0,128
La				0,005				0,003	
Ce	0,004			0,121	0,12	0,007	0,706	0,004	
Pr	0,001			0,014					
Nd				0,03	0,018	0,021	0,01		
Sm				0,023					
Gd	0,001			0,028					
Y		0,04		0,208	0,186	0,094	0,073	0,017	
Zr				0,042					
Сума	3,566	4,161	4,432	2,335	2,147	2,304	2,398	3,609	3,651

Третя форма виділення, що є досить дуже дрібною (до десяти мікронів) і має характер крайових виділень, зафіксована на границі зерен апатиту та польових шпатів (рис. 3в). Для такого уранофану характерними є суттєві варіації в хімічному складі по площі його виділення, що, однак, може бути результатом похибки при проведенні мікрозондового аналізу через дрібний характер виділення зерен. Також ця форма відзначається суттєвим значенням свинцю, який, швидше за все, є результатом тісного зрощення уранофану з дрібними виділеннями галеніту, які спостерігались у вигляді крупніших зерен поряд із досліджуваними мінералами.

Ураноторит (Th, U) [SiO₄] – є головним мінералом-концентратором торію в жилах пегматитів і, разом з тим, урановмісним мінералом. Він поширений у деяких зернах разом з уранофаном, з яким він у них має тісний взаємозв'язок, при якому важко визначити його стабільний хімічний склад, оскільки він варіює в досить широких межах (рис. 3б). Характеризується наявністю суттєвої домішки рідкісноземельних елементів як ітрієвої, так і церієвої групи. Розміри таких виділень досягають 0,3 мм.

Цікавим результатом досліджень структури розпаду ураноториту з уранофаном є наявність у деяких вимі-

рах Се до 41 мас.% і, при цьому, майже цілковита відсутність La (до 1 мас.%). Ширина даного виділення складає близько 70 мкм. Поясненням даної аномалії можуть бути певні специфічні умови утворення, які дозволили відділитись таким важкороздільним елементами. Чотирьохвалентний церій міг позиційно заміщувати уран та торій в структурі кристалу ураноториту, в той час лантан міг відійти до певної трьохвалентної фази. Іншим поясненням цієї аномалії може бути утворення мінералу цериту (Ca, Fe)₂(REE)₈[SiO₄]₇·3H₂O, хоча більш типовим для нього є вміст Се близько 67 мас.%.

Бранерит – UTi₂O₆ формує невеликі пілоподібні виділення навколо біотитових зерен. Малий розмір таких виділень (до 15 мкм) ускладнює проведення точного рентгеноспектрального аналізу (рис. 3г). Поширений у пегматитах відносно рідко.

Висновки. Регібатський щит є важливою геологічною провінцією, з якою пов'язані родовища багатьох корисних копалин, серед яких одне з головних місць займає уран. Вирішальним фактором у цьому є наявність сприятливих для рудної мінералізації геологічних структур – численних розломів та зеленокам'яних структур.

За результатами рентгеноспектрального (мікрозондового) аналізу було виявлено три мінеральні форми

урану – уранофан, ураноторит та бранерит. Перший є найбільш поширеним мінералом і зустрічається у вигляді прожилків, структур розпаду твердого розчину разом з ураноторитом та у вигляді пілоподібних зерен разом з галенітом. Бранерит поширений відносно рідко, зустрічається переважно в пілоподібній формі поряд із зернами біотиту. Ураноторит має в своїй структурі суттєву домішку рідкісноземельних елементів церієвої та ітрієвої груп. В одному зерні ураноториту було виявлено аномальний вміст церію, в той час, коли вміст лантану був дуже низьким. Такий розподіл цих дуже близьких за хімічними властивостями елементів може бути пояснений тим, що церій має змінну валентність (3 та 4) і може ізоструктурно входити до більшої кількості мінералів, у той час, як лантан може заміщувати в кристалах тільки трьохвалентні елементи.

Отже, гранітні пегматити терейну Тазиаст-Тіджирит мають досить високий потенціал для уран-торій-рідкісноземельного зруденіння. Вивчення уранової мінералізації в гранітних пегматитах Регібатського щита є важливим етапом для розвідки нових уранових родовищ на цій території.

Список використаних джерел

1. Bonnici J. P. Le groupe du Tasiast, nouvelle unité lithostratigraphique du socle antécambrien de la Mauritanie occidentale / J. P. Bonnici, R.

Giraudon // Bulletin de la Société Géologique de France. – 1963. – No. 5. – P. 1118–1123.

2. Chardon D. Les déformations continentales archéennes. Exemples naturels et modélisation thermomécanique / D. Chardon // Mémoires de Géosciences Rennes. – 1997. – Vol. 76. – 257 p.

3. Mauritania: A greenfield exploration opportunity in northwestern Africa / C. D. Taylor, E. D. Anderson, D. C. Bradley et al. // SEG Newsletter. – 2012. – 91. – 1–17.

4. Minerals yearbook. Area reports : International [Text] / US Geological Survey. – 2009; [№3] : Africa and the Middle East. – Washington : [s. n.], 2010. – Pag. var. (Minerals yearbook. – Vol. 3 Area reports: International ; 2009; [№3]). – Washington : Government Printing Office, 29.3.2010.

5. Two Mesoproterozoic Terranes in the Reguibat shield of NW Mauritania / R. M. Key, S. C. Loughlin, M. S. A. Horstwood et al. // Geological Society of London Special Publication. – 2008. – 297. – 33–52.

References

1. Bonnici, J.P., Giraudon, R. (1963). Le groupe du Tasiast, nouvelle unité lithostratigraphique du socle antécambrien de la Mauritanie occidentale. Bulletin de la Société Géologique de France, 5, 1118–1123.

2. Chardon, D. (1997). Les déformations continentales archéennes. Exemples naturels et modélisation thermomécanique. Mémoires de Géosciences Rennes, 76, 257 p.

3. Taylor, C.D., Anderson, E.D., Bradley, D.C., Beaudoin, G., Cosca, M.A. et al. (2012). Mauritania: A greenfield exploration opportunity in northwestern Africa. SEG Newsletter, 91, 1–17.

4. U.S. Geological Survey. (2009). Minerals Yearbook. (Vol. 3). Area Reports: International. Africa and the Middle East. Washington: Government Printing Office, 29.3.2010.

5. Key, R.M., Loughlin, S.C., Horstwood, M.S.A., Gillespie, M., Pitfield, P.E.J. et al. (2008). Two Mesoproterozoic Terranes in the Reguibat shield of NW Mauritania. Geological Society of London Special Publication, 297, 33–52.

Надійшла до редколегії 28.07.15

V. Sydorchuk, Postgraduate Student
Institute of Geology
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: sydvit@gmail.com

URANIUM MINERALIZATION IN PEGMATITES OF THE REGUIBAT SHIELD (TASIAST-TIJIRIT TERRANE), MAURITANIA

Mauritania becomes one of the main stratigraphic objects of Western Africa as to exploration of the new mineral deposits. Currently active prospecting works are carried out with the participation of foreign companies for such minerals as iron, copper, gold, uranium, diamonds, rare and rare-earth elements, etc.

Our investigations are carried out within Tasiast-Tijirite terrain, which comprise the North-Western part of Archean block of the Reguibat shield. The main types of rocks distributed in the terrane are migmatites and orthogneisses, greenstone associations and granitic intrusions. The rocks of this massif are of Mesoproterozoic age.

In the pegmatite fields, which are distributed among migmatites and amphibolites, the occurrences of uranium mineralization were observed, which is perspective for doing prospecting work. The pegmatites show typical medium-coarse-grained structure. Among the main minerals are plagioclase (oligoclase-albite), quartz, K-feldspar, biotite, garnet, zircon, sphene, monazite, magnetite, ilmenite, uranium and thorium minerals.

To determine the morphology and chemical composition of uranium minerals the microprobe analysis was used. The main minerals, which contain uranium are represented by uranophane, uranothorite and brannerite. Uranophane was found in several forms – as secondary mineral, which was formed during metasomatic processes, as dust-shaped mineral associated with small galena grains, and as segregation in structure of solid solution with uranothorite. The last one shows presence of a significant admixture of REE of both cerium and yttrium groups. Brannerite was observed only as dust-shaped mineral at the rims of biotite grains.

The results obtained indicate the high potential of the Tasiast-Tijirite terrain for prospecting and exploration of new uranium deposits at this area.

Keywords: microprobe analysis, pegmatites, uranium minerals, Islamic republic of Mauritania.

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

УРАНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ПЕГМАТИТАХ РЕГИБАТСКОГО ЩИТА (ТЕРРЕЙН ТАЗИАСТ-ТИДЖИРИТ), МАВРИТАНИЯ

Маверитания становится одним из главных стратегических объектов Западной Африки для поисков новых месторождений полезных ископаемых. В настоящее время на территории страны с участием зарубежных компаний ведется активная разведка таких полезных ископаемых, как железо, медь, золото, уран, алмазы, редкие и редкоземельные элементы и другие.

Наши исследования проводились в рамках террейна Тазиаст-Тиджирит, представляющего собой северо-западную часть архейского блока Резибатского щита. Основные типы пород, которые распространены на территории террейна, – это мигматиты и ортогнейсы, присутствуют также зеленокаменные ассоциации и интрузии гранитоидов. Породы данного массива имеют мезоархейский возраст.

В полях пегматитов, которые распространены среди тел мигматитов и амфиболитов, было обнаружено проявление урановой минерализации, которое является перспективным для детального изучения. Пегматиты имеют типичную среднегигантокристаллическую структуру. Основными минералами являются: плагиоклаз (олигоклаз-альбит), кварц, калиевый полевоый шпат, биотит, гранат, циркон, сфен, монацит, магнетит, ильменит, минералы урана и тория.

Для определения морфологии зерен и элементного состава урановых минералов был использован рентгеноспектральный (микронзондовый) анализ. В качестве основных минералов, которые содержат уран, установлены: уранофан, ураноторит и браннерит. Уранофан был выявлен в нескольких формах – вторичный, образованный в результате действия метасоматических процессов, в пылеобразной форме вместе с мелкими выделениями галенита и в структуре распада твердого раствора вместе с ураноторитом. Последний имеет в своем составе существенную примесь редкоземельных элементов как цериевой, так и иттриевой группы. Браннерит обнаружен только в пылеобразной форме на периферии биотитовых зерен.

Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале террейна Тазиаст-Тиджирит для поисков и разведки на исследуемой территории новых урановых месторождений.

Ключевые слова: рентгеноспектральный анализ, пегматиты, урановые минералы, Исламская республика Мавритания.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.831

Р. Міненко, магістр
E-mail: maestrozo.1_pavel@mail.ruП. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.
Криворізький національний університет
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, 50086 УкраїнаЮ. Мечніков, інженер-геолог
Криворізька геофізична партія
вул. Геологічна, 2, м. Кривий Ріг, 50001 УкраїнаПРОБЛЕМА ЗМІСТОВНОСТІ СТІЙКИХ РОЗВ'ЯЗКІВ
ОБЕРНЕНИХ ЛІНІЙНИХ ЗАДАЧ ГРАВІМЕТРІЇ

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

Мета роботи – на теоретичних прикладах розробити методику розпізнавання випадків постійної густини або її зростання чи спаду з глибиною та у кожному випадку знайти емпіричні коефіцієнтні функції для виправлення впливу глибини до блоку на величину основної ітераційної поправки.

Обернені задачі гравіметрії некоректні. Частково некоректність їхніх розв'язків зменшують вибором розмірів сітково-блокової інтерпретаційної моделі геологічного середовища, рівних розмірам карти поля тяжіння і отримують стійкі розв'язки. Якщо глибини до всіх шарів і густина частини блоків моделі відомі, то для другої частини блоків розв'язують обернену лінійну задачу гравіметрії (ОЛЗГ) у класі однозначності розв'язку. Такі задачі вирішують для структурної геології, в основному, в нафтогазових районах, де є багато свердловин і вся площа карти поля покрита сейсмічними дослідженнями геологічних структур. У рудних районах сейсмічні дослідження майже не виконуються, а тому форма геологічних структур невідома. Свердловин також небагато, а на кристалічних щитах вони не завжди досягають границі осадового комплексу з кристалічними породами або проходять по них перші метри чи перші десятки метрів. У таких умовах вузьким класом однозначності може бути тільки одношарова модель з блоками у формі напівнескінчених вертикальних призм. Результати розв'язку оберненої задачі для такої моделі далекі від реального розподілу густини в геологічному масиві. З переходом на більш детальну модель, яка складається із обмежених по вертикалі блоків, згрупованих у горизонтальні шари, у розв'язках обернених задач ітераційними методами на теоретичних і реальних полях ми спостерігаємо зменшення густини в більш глибоких блоках, хоча реально їхня густина з глибиною не змінюється. Розроблено метод отримання стійкого та змістовного розв'язку ОЛЗГ по додатковому рішення з уточнюючими ітераційними поправками. Але він придатний тільки у випадках постійної густини високоаномальних тіл у вертикальному напрямку. Для випадків зростання чи спаду густини з глибиною в цій роботі в основну ітераційну поправку введені коефіцієнтні функції для коригування впливу на неї глибини розміщення блоку. Вид функцій залежить від напрямку зміни густини порід. Остаточний розподіл густини, як правило, досягається використанням методів оптимізації з уточнюючими поправками більш високих порядків.

Ключові слова: гравіметрія, обернена задача, ітераційний метод, ітераційна поправка, критерій оптимізації, вплив глибини на поправку.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними задачами. Обернені задачі (ОЗ) гравіметрії некоректні. Частково некоректність їхніх розв'язків зменшують вибором розмірів сітково-блокової інтерпретаційної моделі (СБІМ) геологічного середовища, що дорівнюють розмірам карти поля сили тяжіння (ПСТ) і отримують стійкі розв'язки ОЗ [1, 2, 8-10]. Якщо глибини до всіх шарів і густина частини блоків моделі відомі, то для другої частини блоків розв'язують обернену лінійну задачу (ОЛЗ) гравіметрії у класі однозначності розв'язку [3, 11]. Якщо ж приблизно відома густина усіх блоків або скачки густини на відомих границях шарів моделі, то ведуть пошуки зон розушлінення гірських порід (ГП) ряду блоків у вузькому класі однозначності розв'язку ОЛЗ [1, 6]. Іноді при тих же умовах вирішують обернену нелінійну задачу (ОНЗ) гравіметрії для пошуку локальної зміни форми однієї границі, також у вузькому класі однозначності розв'язку ОНЗ [6, 7, 12]. Такі задачі вирішують для структурної геології, в основному, в нафтогазових районах, де є багато свердловин, і вся площа карти ПСТ покрита сейсмічними дослідженнями геологічних структур. У рудних районах сейсмічні дослідження майже не виконуються, а тому форма геологічних структур невідома. Свердловин також небагато, а на кристалічних щитах вони використовуються тільки для пошуків води, не досягаючи границі осадового комплексу з кристалічними ГП, або проходять по них перші метри чи перші десятки метрів. У таких умовах вузьким класом однозначності може бути тільки одношарова СБІМ з блоками у формі напівнескінчених вертикальних призм з прямокутним чи трикутним горизонталь-

ним перерізом [1]. По полю сили тяжіння при відомій густині верхнього шару кристалічних ГП можна приблизно знайти глибини до його нижньої границі та густина напівнескінчених вертикальних блоків-призм другого шару, а потім виділити поле 1-го шару та розв'язувати у вузькому класі однозначності ОЛЗ для одношарової СБІМ відносно густини кожного блоку чи ОНЗ з уточненням глибин до верхньої границі кристалічних ГП [3]. Особливе місце займають розв'язки ОЗ ітераційними оптимізаційними методами [2-5], оскільки вони, на відміну від прямих методів, не потребують спеціальних, багатомірних та тривалих методів розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Крім того, не всі схеми та умови оптимізації можна реалізувати прямими методами. Однак, ітераційні методи також мають недоліки. При розширенні області розв'язку ОЛЗ на багатшарові моделі не при всіх початкових умовах (ПУ) отримують реальні значення густин у блоках ГП, тобто виникає порушення фізичної чи геологічної змістовності отриманого розв'язку ОЛЗ. Експериментами, навіть на двохшарових моделях, установлено суттєве зменшення густини блоків нижнього шару. Для 6-8-шарових моделей з постійною густиною отримана у розв'язку ОЛЗ густина зменшується майже в 2 рази. При цьому можливо, що розв'язки сумісної оберненої лінійно-нелінійної задачі з одночасним визначенням густин блоків та глибин [3] до них не будуть відповідати дійсності.

Аналіз останніх досягнень і публікацій, у яких закладене рішення даної проблеми й на які спирається автор. Останніми дослідженнями [4, 5] встановлено, що використанням уточнюючих ітераційних поправок двохетапною методикою можна вийти на зміс-

товний та близький до реального розподілу густини розв'язок ОЛЗ. При цьому після розв'язку ОЛЗ методом простої ітерації (ПІ), отриману густину блоків використовують як ПУ на другому етапі методом з уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку в ітераційній формулі та у критерії оптимізації. Але використовують тільки густину блоків одного шару, а всім блокам інших шарів, що знаходяться на одній вертикалі, приписують одне і те саме значення густини у ПУ. Як правило, на 2-му етапі отримують змістовний розв'язок, близький до реального розподілу густини у геологічному масиві. Але така двохетапна методика розв'язання ОЛЗ придатна тільки в тому випадку, коли аномальні тіла (АТ) мають постійну по вертикалі густину, що в багатьох випадках так і буває. Але у випадках, коли АТ з глибиною виклинюються, або їхня густина зростає чи спадає з глибиною, така методика не дає реального розв'язання ОЛЗ. Доведено, що, більше того, всі ці методичні заходи й теоретичні розробки не завжди не тільки для реальних, а навіть і для теоретичних полів, забезпечують виділення у вертикальному напрямку блоків із підвищеною чи зниженою густиною. Все це є недоліками існуючих методів розв'язку ОЛЗГ.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячена дана стаття. Використання розробленої методики заважає еквівалентність розв'язків ОЛЗ із спадом отриманої густини, незалежно від того, зростає вона реально з глибиною в АТ, спадає чи залишається постійною. Якщо на теоретичних прикладах встановити можливість розпізнавання випадків постійної густини або її зростання чи спаду з глибиною, то у кожному випадку можна знайти емпіричні коефіцієнтні функції для виправлення впливу глибини до блока на величину основної ітераційної поправки. Якщо в теоретичному прикладі ми отримаємо правильний розв'язок ОЛЗГ, то можна сподіватися, що набором тих же ітераційних методів і методичних прийомів для реального поля ми також отримаємо геологічно змістовний розподіл густини в АТ.

Формулювання цілей статті. Мета цієї роботи – на теоретичних прикладах розробити методику розпізнавання випадків постійної густини або її зростання чи спаду з глибиною та для кожного випадку знайти емпіричні коефіцієнтні функції для виправлення впливу глибини до блока на величину основної ітераційної поправки. Це дасть можливість за аналогією з теоретичними прикладами отримати правильний розв'язок ОЛЗГ набором тих же ітераційних методів і методичних прийомів інтерпретації реального поля.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Спочатку приведемо теоретичний апарат, за допомогою якого будемо виконувати необхідні дослідження. Найбільш ефективним є сильно збіжний ітераційний метод розв'язку оберненої задачі – метод ПІ з критерієм оптимізації мінімуму суми квадратів ітераційних поправок до густини (B, B) , в якому ітераційні формули (ІФ) густини гірських порід, нев'язки поля та поправки до густини для кожної наступної $(n+1)$ -ої ітерації виводяться послідовно одна з іншої і мають такий вигляд:

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{n+1} B_{i,1,n}; \quad (1)$$

$$r_{j,n+1} = r_{j,n} - \tau_{n+1} Z_{j,1,n}; \quad (2)$$

$$B_{i,1,n+1} = B_{i,1,n} - \tau_{n+1} C_{i,1,n}; \quad (3)$$

де τ_{n+1} , $B_{i,1,n}$ і т.д. – ітераційний коефіцієнт й ітераційні поправки, що обчислюються після кожної попередньої n -ої ітерації з урахуванням наближеного значення густини $\sigma_{i,n}$ ($i=1, M$) кожного i -того блоку сіткової моделі,

отриманого на тій же ітерації ($\sigma_{i,0}$ – вектор ПУ або нульових значень для густини ГП на першій ітерації);

$$B_{i,1,n} = M_{i,1,n} = (a_{i,j} / \lambda_i, f_i r_{j,n}) \quad (4)$$

- поправка 1-го порядку до густини;

$$f_i = 1; \lambda_i = 2 \sum_j a_{ij} \lambda_j; \lambda_j = \sum_i a_{ij}; \forall a_{ij} > 0; \quad (5)$$

$$\lambda_i = 2 \sum_j (a_{ij} \lambda_j); \lambda_j = \sum_i (a_{ij}); \forall a_{ij} \in R(i, j); \quad (6)$$

$$C_{i,1,n} = M_{i,2,n} = (a_{i,j} / \lambda_i, Z_{j,1,n}); Z_{j,1,n} = M_{j,1,n} = (a_{i,j}, r_{j,n});$$

$M_{i,m,n}, M_{j,m,n}$ – поправки першого й більш високих порядків $m=1, p$, одержані послідовно із формул, починаючи з (1) при $p=1$; $a_{i,j}$ – елементи матриці розв'язків прямої задачі гравіметрії для прямокутного паралелепіпеда при одиничній аномальній густині $\sigma_{i,n}$ гірських порід, що представляють собою елементи зв'язку в системі лінійних алгебраїчних рівнянь між кожною j -тою точкою карти вимірюваного поля g_j ($j=1, N$) й аномальною густиною кожного i -того блоку сіткової моделі;

$$r_{j,n} = (a_{i,j} \cdot \sigma_{i,n}) - g_j \quad (7)$$

- нев'язка поля на попередній ітерації;

Помножимо скалярно (1) на $a_{i,j}$ та віднімемо із лівої й правої частин g_j , і з урахуванням (7) одержимо ІФ для нев'язки поля (2) на наступній ітерації. Аналогічно, помножимо скалярно (2) на $a_{i,j} / \lambda_i$ і отримаємо ІФ (3) для поправки 1-го порядку до поправки $B_{i,1,n}$ або 2-го порядку до густини $\sigma_{i,n}$ на наступній ітерації;

$$Z_{j,1,n+1} = Z_{j,1,n} - \tau_{n+1} D_{j,1,n}; \quad (8)$$

де

$$D_{j,1,n} = (a_{ij} \cdot C_{i,1,n}) \quad (9)$$

Аналогічно отримаємо одна за одною ітераційні формули для поправок більш високого порядку

$$C_{i,1,n+1} = C_{i,1,n} - \tau_{n+1} E_{i,1,n}; \quad (10)$$

де

$$E_{i,1,n} = (a_{ij} / \lambda_i \cdot D_{j,1,n}) \quad (11)$$

$$D_{j,n+1} = D_{j,n} - \tau_{n+1} F_{j,1,n}; \quad (12)$$

де

$$F_{j,1,n} = (a_{ij} \cdot E_{i,1,n}) \quad (13)$$

$$E_{i,1,n+1} = E_{i,1,n} - \tau_{n+1} K_{i,1,n}; \quad (14)$$

де

$$K_{i,1,n} = (a_{ij} / \lambda_i \cdot F_{j,1,n}) \quad (15)$$

Набір поправок можна продовжити, утворюючи пари поправок $(P_{j,1,n}, S_{i,1,n})$ і т.д.

Складемо критерії оптимізації

$$F_r = \sum_j r_{j,n+1}^2 = \min; F_M = \sum_i M_{i,m,n}^2 = \min; \quad (16)$$

На практиці зручніше користуватися позначеннями поправок, наведеними в (8)-(15), де літери B, C, E, K, S_i , аналогічно, Z, D, F, P, V відповідають номерам порядку $m=1, 2, 3, 4, 5$ у загальному позначенні $M_{i,m,n}, M_{j,m,n}$ і т.д. Наведемо кілька прикладів оптимізації розв'язання обернених задач, у яких для простоти частину індексів опустимо:

Метод ПІ для ІФ (1) з повною аббревіатурою (sB, BC) або $B2$, а також (BC):

$$(B, B) = (B - \tau_{1,n+1} C)^2 = \min; \quad (17)$$

$$\tau_{1,n+1} = (B_{i,n}, C_{i,n}) / (C_{i,n}, C_{i,n}); \quad (18)$$

Метод ПІ для ІФ (1), але з критерієм оптимізації (КО) по поправці вищого порядку E та з абривіатурою (sB , EK):

$$(E, E) = (E - \tau_{2,n+1}K)^2 = \min; \quad (19)$$

$$\tau_{2,n+1} = (E_{i,n}, K_{i,n}) / (K_{i,n}, K_{i,n}); \quad (20)$$

Метод ітерацій для ІФ з уточнюючими поправками B , C , E , з КО по основній поправці B та з абривіатурою ($sBCE$, $BCEK$):

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{1,n+1}B_{i,1,n} - \tau_{2,n+1}C_{i,1,n} - \tau_{3,n+1}E_{i,1,n}; \quad (21)$$

$$(B, B) = (B - \tau_{1,n+1}C - \tau_{2,n+1}E - \tau_{3,n+1}K)^2 = \min; \quad (22)$$

Метод ітерацій для ІФ з уточнюючими поправками C , E , K , з КО по основній поправці C та з абривіатурою ($sCEK$, $CEKS$):

$$\sigma_{i,n+1} = \sigma_{i,n} - \tau_{1,n+1}C_{i,1,n} - \tau_{2,n+1}E_{i,1,n} - \tau_{3,n+1}K_{i,1,n}; \quad (23)$$

$$(C, C) = (C - \tau_{1,n+1}E - \tau_{2,n+1}K - \tau_{3,n+1}S)^2 = \min. \quad (24)$$

Метод ітерацій для ітераційної формули (21) з уточнюючими поправками B , C , E , з КО по невязці поля (7) та з абривіатурою ($sBCE$, $RZFG$):

$$(r_{j,n+1}, r_{j,n+1}) = (r_{j,n} - \tau_{1,n+1}Z_{j,1,n} - \tau_{2,n+1}F_{j,1,n} - \tau_{3,n+1}G_{j,1,n})^2 = \min; \quad (25)$$

Методи з критеріями (19)-(25), за аналогією з методом В2, мають такі скорочені абривіатури: EK , $BCEK$, $CEKS$, $RZFG$. Програмна реалізація методів (17)-(25) та інших виконана при різних m для гравітаційних і магнітних полів. Далі розглянемо приклади розв'язку ОЛЗ гравіметрії на теоретичних прикладах з теоретичними моделями геологічного середовища для вирішення поставленої мети.

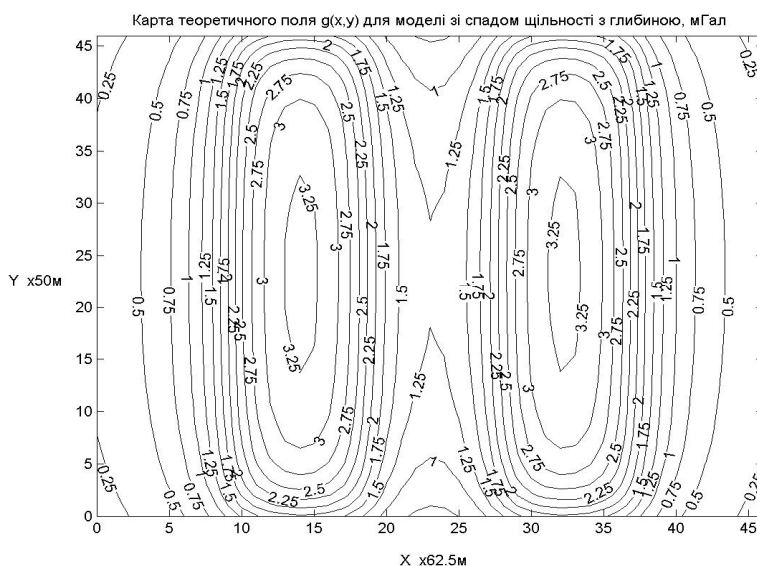


Рис. 1. Карта теоретичного поля сили тяжіння над двома АТ зі спадом густини з глибиною, в МГал

Візьмемо 6-шарову сітково-блокову інтерпретіційну модель (СБІМ), у якій два локалізовані АТ вертикально витягнуті і мають змінну аномальну густину (АЩ) по вертикалі. У першому шарі АЩ дорівнює $0,5 \text{ г/см}^3$, у другому – $0,4 \text{ г/см}^3$, у третьому – $0,3 \text{ г/см}^3$, а далі – $0,25$; $0,20$ і, нарешті, $0,10 \text{ г/см}^3$ у 6-му шарі. Потужність шарів 65-80 м. Виконаємо розв'язок ОЛЗ для теоретичного поля сили тяжіння (ПСТ, рис. 1) над описаною моделлю методом ПІ з КО по мінімуму суми квадратів поправок (МСКП) до густини (метод В2 або з більш детальною абривіатурою – метод sB , BC). Як бачимо (рис. 2), в обох АТ у розв'язку ОЛЗ після 30 ітерацій отримано спад густини з глибиною, але значно менший: від $0,46$ до $0,22 \text{ г/см}^3$. Збільшення кількості ітерацій ще на 50 не дало покращання розв'язку (рисунок не наведено). Тоді було виконано ще 50 ітерацій, але з вирівнюванням ПУ по АЩ 2-го шару з попереднього розв'язку ОЛЗ. На цьому етапі густина по глибині не вирівнялася, хоча її розмах трохи зменшився: з $0,42$ до $0,26 \text{ г/см}^3$ при збереженні АЩ у 2-3-му шарах на рівні попереднього розв'язку. Це дало право зробити висновок про реальний спад АЩ з глибиною. Тоді було виконано наступні 50 ітерацій методом ПІ, але з уточненою основною поправкою B за обернену глибину до кожного шару (рис. 3). У цьому випадку ми отримали значно більший спад густини, ніж було потрібно – від $0,74$ до $0,06 \text{ г/см}^3$. Після додаткових 50 ітерацій з уточненою основною поправкою B за корінь квадратний із оберненої глибини до кожного шару спад зменшився від $0,58$ до $0,12 \text{ г/см}^3$

(рис. 4). Такий результат можна вважати задовільним, оскільки тенденція зміни густини встановлена. Зробимо розв'язок ОЛЗ ще на 20 ітераціях методом з уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку ($RZFG$), але результат не змінився. Продовжимо розв'язок ОЛЗ ще на 50 ітерацій з коефіцієнтом до оберненої глибини в ступені $(0,25)$ у тій же основній поправці B . Тепер густина першого шару стала $0,52 \text{ г/см}^3$, і майже наблизилась до реального значення $0,50 \text{ г/см}^3$, але для 6-го шару густина поповзла вгору до $0,16 \text{ г/см}^3$, замість $0,10 \text{ г/см}^3$. Після ще 50 ітерацій методом ПІ з основною поправкою B в густині 1-го шару досягла реального значення $0,50 \text{ г/см}^3$, але для 6-го шару густина залишилася на тому ж рівні, а в 2-5 шарах вона відрізнялася від реальної АЩ на $0,02$ – $0,04 \text{ г/см}^3$ (рис. 5). Розв'язком ОЛЗ із врахуванням у моделі градієнтів густини, які в СБІМ не були введені, та з використанням алгоритму уточнюючих ітераційних поправок вищого порядку отримуємо дуже близький до реального розподілу густини, крім густини останнього 6-го шару (рис. 6а). Оскільки для розподілів густини, близьких до реальних, використовується основна поправка B (поправка першого порядку) без урахування глибини до блоків, то останнім уточнюючим етапом розв'язку ОЛЗ було використання методу ПІ (рис. 6б), яким отримано майже точні значення густини для 3-6-го шарів, для 1-2-го шарів збігається тільки їхнє середнє значення, а фактично різниця становить $-0,06 \text{ г/см}^3$ для 1-го шару і $+0,06$; $-0,02$ та $-0,01 \text{ г/см}^3$ для 2-4-го шарів.

Таким чином, використання різних ітераційних методів з різними критеріями оптимізації, ІФ, поправками та коефіцієнтами до них, підбором кількості ітерацій для кожного ітераційного методу на кожному етапі отримано майже реальний розв'язок ОЛЗ, хоча на деяких етапах для окремих шарів він погіршувався, а на інших етапах знову відновлювався при високій точності відновлення ПСТ з середньоквадратичною похибкою $Re=0,021$ мГал, яка майже рівномірно роз-

поділена по всій карті поля. Ще треба окремо описати розподіл АЩ у розв'язку ОЛЗ у геологічному просторі за межами двох АТ, яка у нашій СБІМ задана нульовою. Між АТ вона змінюється від $-0,12$ до $+0,08$ г/см³ у мінімальних зонах, а справа та зліва за межами АТ – від $-0,04$ до $+0,04$ г/см³, тобто, в середньому, на кожній вертикалі блоків у розв'язку ОЛЗ отримано майже нульові значення АЩ.

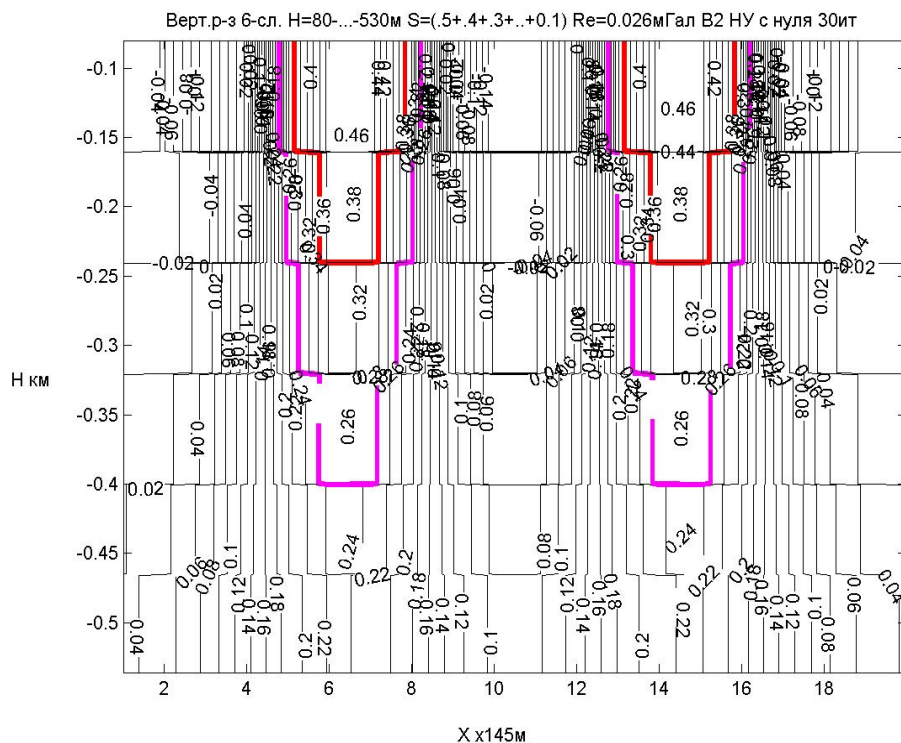


Рис. 2. Результат розв'язку ОЛЗ методом ПІ з нульовими ПУ для моделі зі спадом густини з глибиною: розріз аномальної густини (АЩ), тут і далі в г/см³

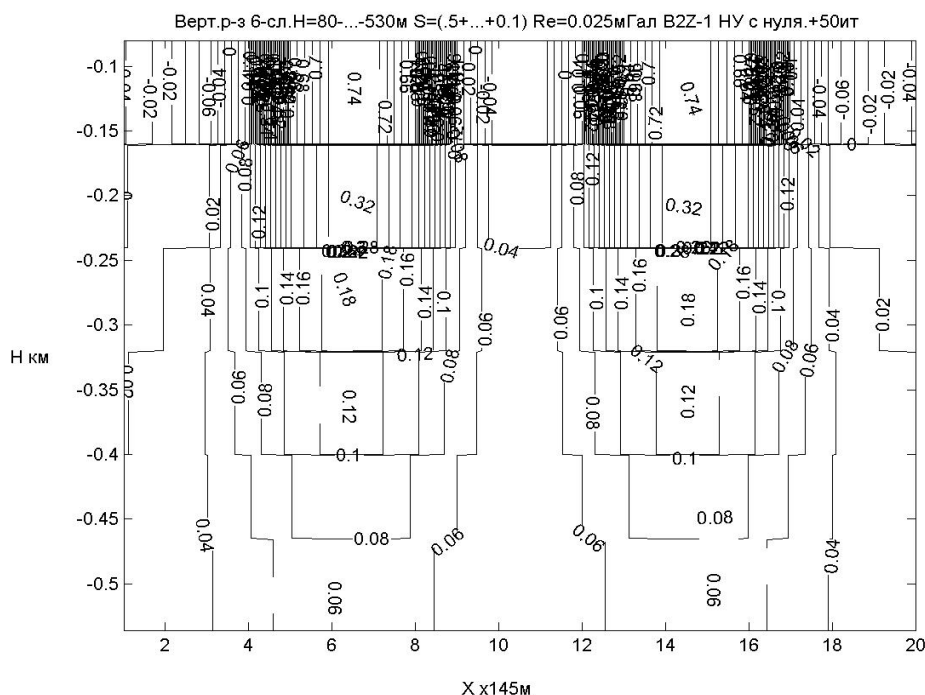


Рис. 3. Результат продовження розв'язку ОЛЗ методом ПІ і коригуванням поправки В коефіцієнтною функцією ($f_1=z_6/z_1$): розріз АЩ

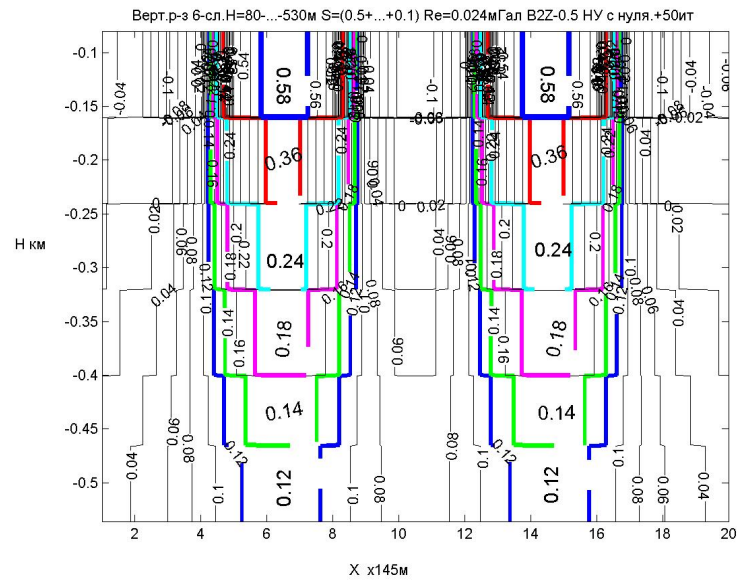


Рис. 4. Результат розв'язку ОЛЗ методом ПІ з нульовими ПУ і коригуванням поправки В коефіцієнтною функцією ($f_i = (C/z_i)^{0.5}$, $C = z_0$): розріз АЩ

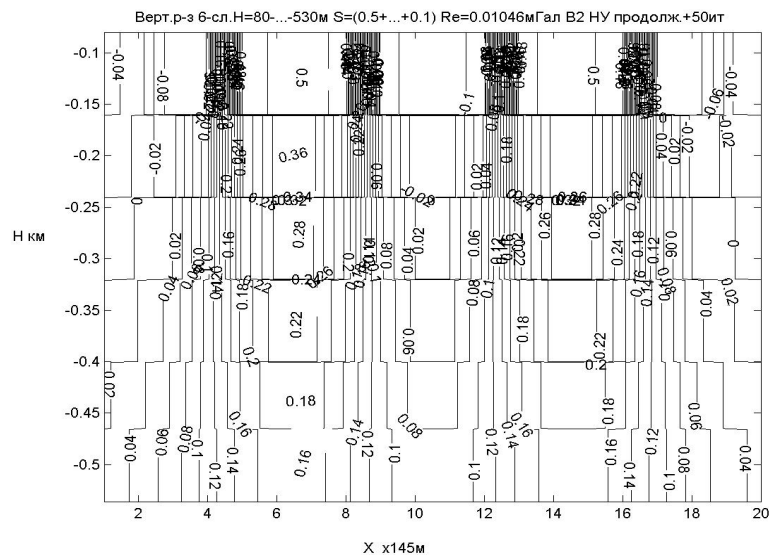


Рис. 5. Результат продовження розв'язку ОЛЗ методом простої ітерації: розріз АЩ

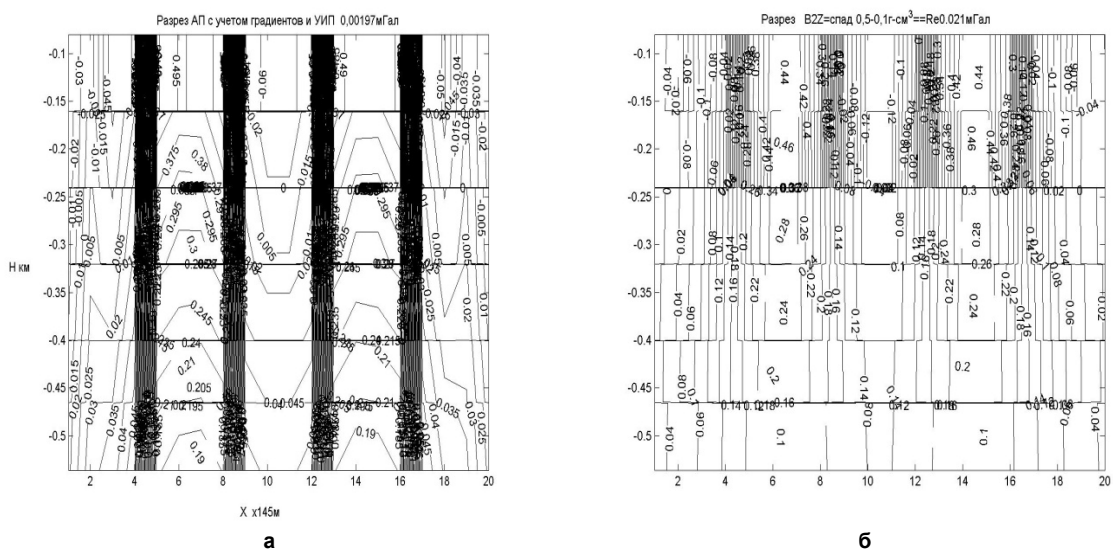


Рис. 6. Розрізи АЩ:

а – результат продовження розв'язку ОЛЗ з урахуванням лінійної зміни АЩ у блоках;
б – результат продовження розв'язку ОЛЗ методом простої ітерації

Аналогічно арсеналом вище використаних методів виконаємо дослідження розв'язків ОЛЗ на моделях, у яких густина АТ з глибиною зростає. В попередню СБІМ внесемо інший порядок розподілу АЩ з глибиною: у першому АТ беремо АЩ для 1-2-го шарів $0,3 \text{ г/см}^3$, для 3-4-го – $0,4 \text{ г/см}^3$, а для 5-6-го – $0,5 \text{ г/см}^3$; у другому АТ беремо відповідно у всіх шарах на $0,1 \text{ г/см}^3$ менше. Після 50 ітерацій методом ПІ з нульовими ПУ у розв'язку ОЛЗ замість росту АЩ отримано її спад у межах від $0,46$ до $0,24 \text{ г/см}^3$ у 1-ому АТ і від $0,32$ до $0,18 \text{ г/см}^3$ у другому (рис. 7). Вирівнюванням ПУ по АЩ 2-го шару з попереднього розв'язку отримали АЩ у 2-5 шарах $0,38 \text{ г/см}^3$, і трохи меншу у 1-ому та 6-ому шарах, а це не відповідає дійсності. Аналогічно, у другому АТ отримали розподіл АЩ від 1-го до 6-го шару: $0,24$ – $0,26$ – $0,28$ – $0,28$ – $0,28$ – $0,26 \text{ г/см}^3$. Попередній алгоритм для спаду АЩ також не спрацював. Тоді було використано метод ПІ з основною поправкою В, в яку було введено коефі-

цієнт для збільшення її пропорційно росту глибини до кожного блоку. В результаті у розв'язку ОЛЗ ми отримали зростання АЩ з глибиною. Середні значення АЩ у 1-ому й 1-2-ому АТ для 1-2-го шарів: $0,28$ і $0,20 \text{ г/см}^3$, для 3-4-го – $0,44$ і $0,32 \text{ г/см}^3$, а для 5-6-го – $0,515$ і $0,37 \text{ г/см}^3$ (рис. 8). При цьому відхилення у першому АТ складають $-0,02$; $+0,03$ та $+0,015 \text{ г/см}^3$, а у другому АТ: 0 ; $+0,02$ та $-0,03 \text{ г/см}^3$, але цей розв'язок є не зовсім задовільним, бо реальні відхилення у деяких шарах майже вдвічі більші. Після ще 50 ітерацій суттєво розв'язок ОЛЗ не змінили: отримано добавки АЩ у деяких блоках шарів не більше $0,01$ – $0,02 \text{ г/см}^3$. Візьмемо іншу модель, а саме зі зростанням АЩ з глибиною в обох АТ у 1-6-ому шарах: $0,1$ – $0,2$ – $0,3$ – $0,4$ – $0,45$ – $0,5 \text{ г/см}^3$. Використаємо метод ПІ з основною поправкою В та з урахуванням градієнтів АЩ. Замість зростання АЩ з глибиною отримуємо її спад від $0,30$ до $0,24 \text{ г/см}^3$.

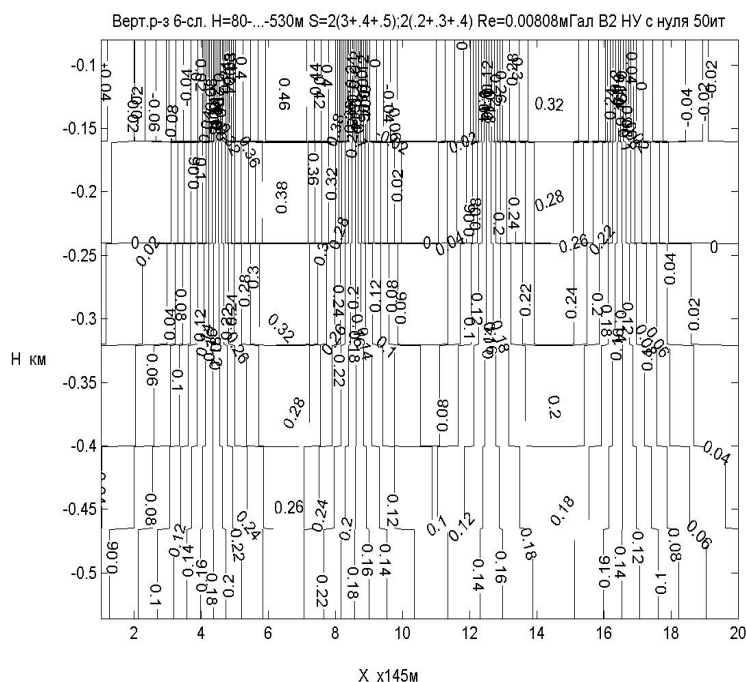


Рис. 7. Результат розв'язку ОЛЗ методом ПІ з нульовими ПУ для моделі зі зростанням густини з глибиною: розріз АЩ

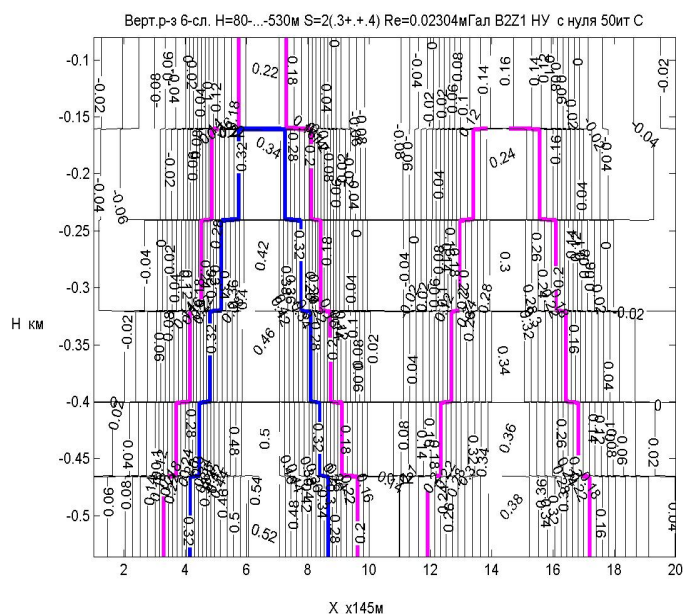
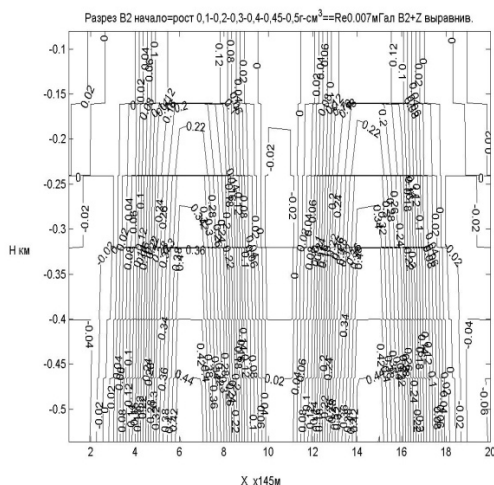


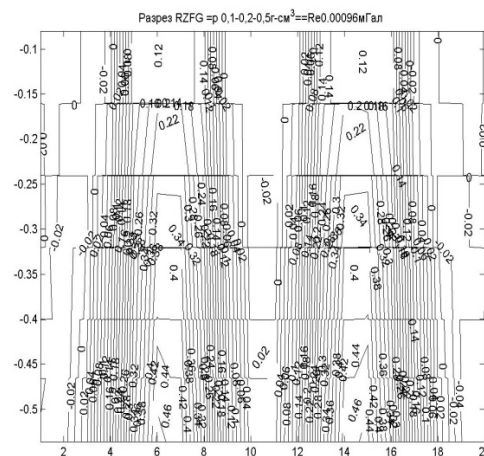
Рис. 8. Результат продовження розв'язку ОЛЗ методом ПІ і коригуванням поправки В коефіцієнтною функцією ($f_i=z/z_6$): розріз АЩ

Тоді використаємо метод ПІ з основною поправкою В, виправленою за пропорційне від глибини зростання АЩ, і у розв'язку ОЛЗ отримаємо зростання АЩ від блоку до блоку 0,12-0,22-0,34-0,40-0,42-0,44 г/см³, що для перших 4-ох шарів близько до дійсності, а для 5-6-го – вимагає уточнення (рис. 9а). Далі використаємо метод з уточнюючими поправками вищого порядку (RZFG) і отримаємо збільшення АЩ для 5-6 шарів до 0,44 та 0,46 г/см³, що значно ближче до реальних значень АЩ (рис. 9б). Після використання ще ряду методів з повторенням уточнення основної поправки В пропор-

ційно глибині та її квадрату (рис. 10), отримали точний розв'язок ОЛЗ для 1-го та майже точний для 6-го шарів (рис. 10), але в інших шарах маємо відхилення АЩ 0,06–0,08 г/см³, що більше ніж у попередньо виконаних розв'язках. Таким чином, набором методів та методичних прийомів можна відновлювати ПСТ у випадку великого зростання АЩ аномальних тіл з глибиною. Але встановити необхідність використання алгоритмів зі зростанням АЩ при збільшенні глибини до блоків можна тільки після декількох повторень циклу алгоритмів при заміні або вилученні із них деяких методів.



а



б

Рис. 9. Розрізи АЩ:

а – продовження розв'язку ОЛЗ з урахуванням лінійної зміни АЩ у блоках;
б – продовження розв'язку ОЛЗ методом з уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку (RZFG)

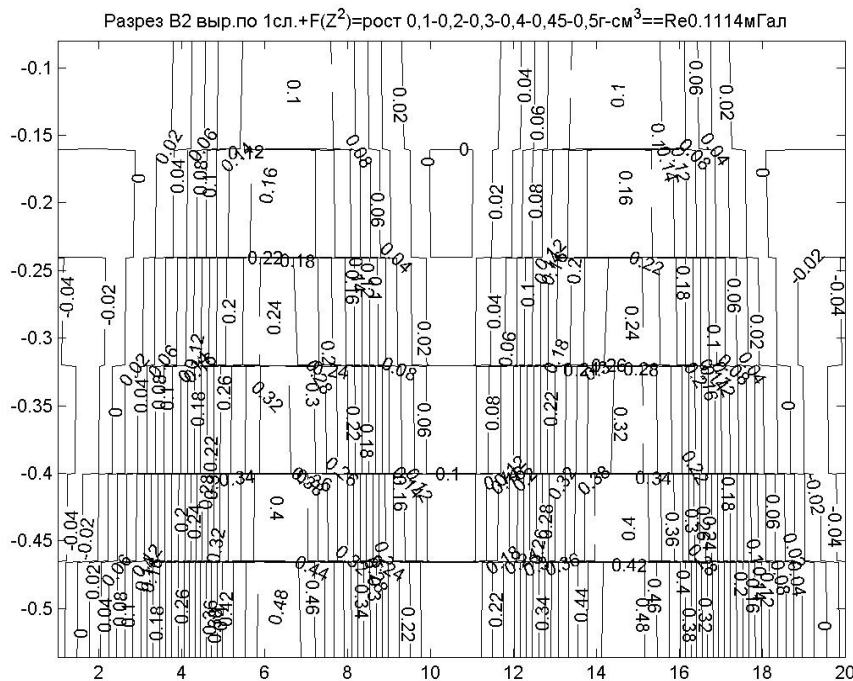


Рис. 10. Результат продовження розв'язку ОЛЗ методом ПІ і коригування поправки В коефіцієнтною функцією $f_i = (z/z_0)^2$: розріз АЩ

Тепер з урахуванням результатів розв'язку ОЛЗ для АТ зі змінною з глибиною густиною, порівняємо розв'язки ОЛЗ для АТ із незмінною з глибиною АЩ. Візьмемо 6-шарову СБІМ із АЩ обох тіл у всіх шарах 0,50 г/см³. Методом простої ітерації з основною поправкою В отримаємо розв'язок ОЛЗ зі спадом АЩ в обох АТ із глибиною в межах від 0,50 до 0,30 г/см³ (рис. 11). При

цьому маємо дуже велику середньоквадратичну похибку відновлення поля $Re=0.289$ мГал. Як було встановлено раніше, при постійній густині та нульових ПУ у розв'язку ОЛЗ з обмеженими по глибині блоками ми отримуємо у 1-ому шарі реальну АЩ 0,50 г/см³, а між АТ майже нульову АЩ 0,02 г/см³. Але з глибиною АЩ обох АТ падає до 0,30 г/см³, проте АЩ між АТ зростає

до $0,22 \text{ г/см}^3$. Далі треба вирівнювати ПУ по першому шару. Але ми використаємо спочатку алгоритм виправлення поправки за глибину до блоків пропорційно зростанню глибини і отримаємо у розв'язку ОЛЗ зростання

АЩ обох АТ у межах від $0,26$ до $0,70 \text{ г/см}^3$ при похибках ($Re=0,101 \text{ мГал}$, рис. 12а). Такий розв'язок ОЛЗ у будь-якому разі є незадовільним.

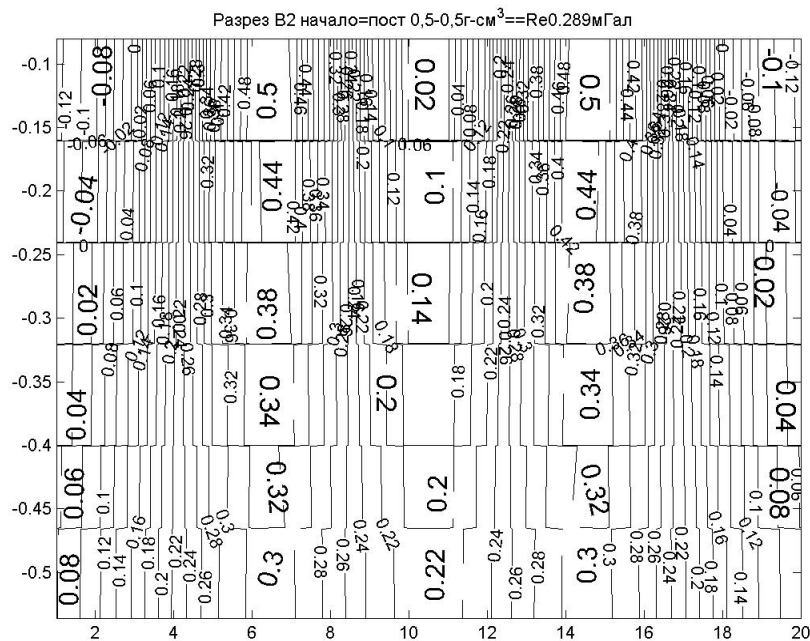


Рис. 11. Результат розв'язку ОЛЗ методом ПІ з нульовими ПУ для моделі із постійною густиною при зміні глибини: розріз АЩ

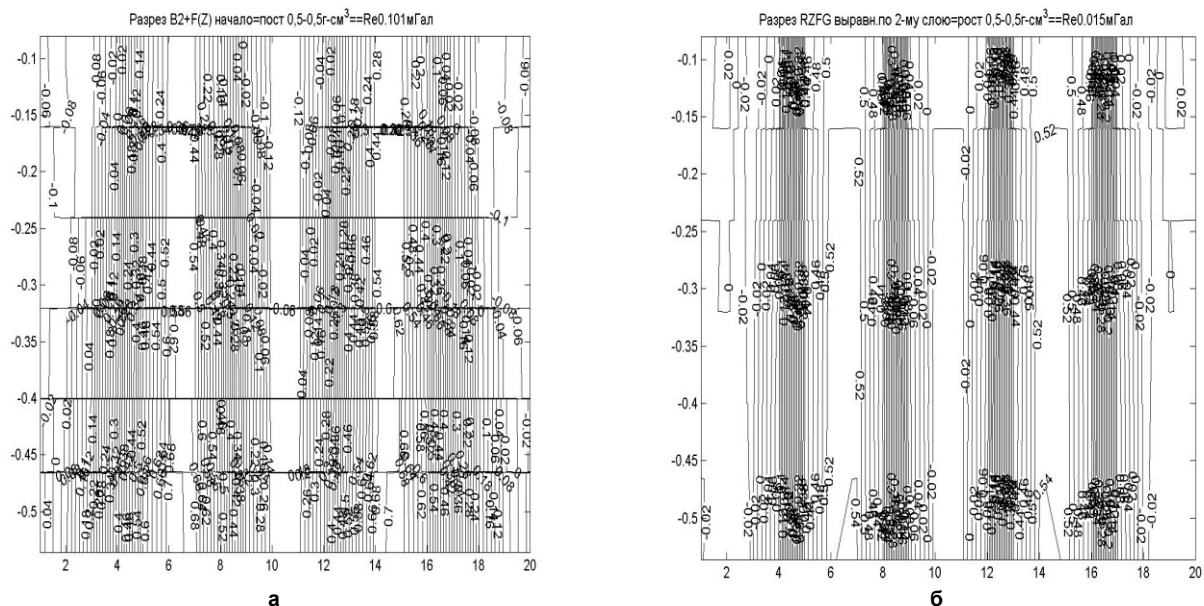


Рис. 12. Розрізи АЩ:

а – результат продовження розв'язку ОЛЗ методом ПІ з коригуванням поправки В коефіцієнтною функцією ($f_i = z/z_6$);
б – результат продовження розв'язку ОЛЗ методом із уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку (RZFG) та з вирівнюванням ПУ по АЩ 2-го шару моделі

Вирівнюючи в ПУ для наступного етапу рішення ОЛЗ АЩ усіх шарів по АЩ 2-го шару з попереднього розв'язку (рис. 12а), методом з уточнюючими поправками вищого порядку (RZFG) отримаємо новий розв'язок ОЛЗ (рис. 12б), у якому в 1-ому шарі маємо реальну АЩ $0,50 \text{ г/см}^3$, у 2-5-ому – трохи більшу, а в 6-ому – $0,54 \text{ г/см}^3$. Далі, вирівнюючи ПУ всіх шарів по АЩ 1-го шару (рис. 12б), після 10 ітерацій отримаємо новий розв'язок ОЛЗ (рис. 13а), який є задовільним, але в нижній частині розрізу ще відрізняється від реального.

Виявилось, що при новому вирівнюванні ПУ по 1-шару попереднього розв'язку ОЛЗ (рис. 13а) можна отримати майже реальний розв'язок ОЛЗ для всіх шарів у розрізі моделі (рис. 13б) з дуже високою точністю відновлення поля ($Re=0,0023 \text{ мГал}$). Таким чином, при постійній АЩ алгоритм розв'язку ОЛЗ з вирівнюванням ПУ та використанням уточнюючих ітераційних поправок вищого порядку приводить до повного відновлення модельного ПСТ.

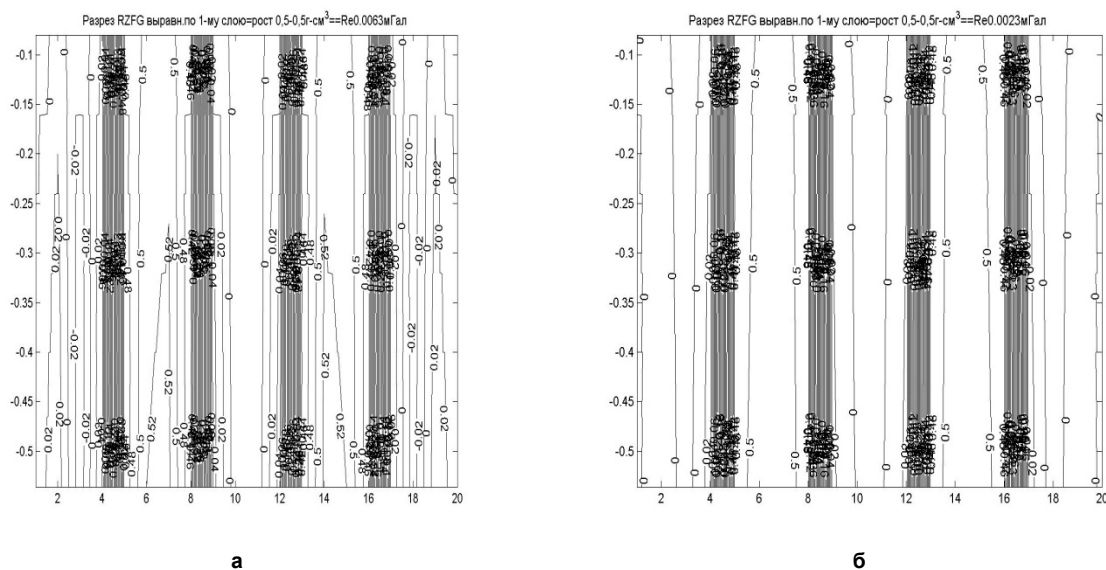


Рис. 13. Вертикальні розрізи АЩ:

а – результат продовження розв'язку ОЛЗ методом із уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку (RZFG) та з вирівнюванням ПУ по АЩ 1-го шару моделі з досягненням середньої нев'язки поля $Re=0,0063$ мГал;
 б – результат наступного продовження при тих же параметрах, але з досягненням $Re=0,0023$ мГал

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших пошуків у даному напрямку. До відомих раніше методів розв'язання обернених задач із використанням додаткових уточнюючих ітераційних поправок вищого порядку долучені методи з виправленням основної ітераційної поправки за зміну глибини до блоків, що дозволило одержувати більш достовірні результати інтерпретації даних гравіметрії у випадках зростання чи спаду густини ГП з глибиною. Але запропоновані алгоритми коригування основної ітераційної поправки за зміну глибини до блоків не дають високої ефективності і забезпечують задовільний розв'язок ОЛЗ тільки багаторазовим використанням декількох методів та методичних прийомів.

Необхідно розробляти методи з іншими формулами коефіцієнтних функцій для коригування ітераційних поправок за зміну глибини для порівняння їхньої ефективності із запропонованими й більш ранніми методами.

Список використаних джерел

1. Кобрунов А. И. Теория интерпретации данных гравиметрии для сложнопостроенных сред : учебное пособие / А. И. Кобрунов. – К.: МВССО УССР УМЖ ВО, 1989. – 100 с.
2. Миненко П. А. Теоретическое обоснование преобразования моделей решения некорректной линейной задачи гравиметрии в корректную с оптимизацией итерационного процесса на основе условно-экстремальных критериев / П. А. Миненко // Теория и практика геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий : матер. 32-й сессии междунар. науч. семинара им. Д. Г. Успенского (29.01-01.02.2005 г.). – Пермь, 2005. – С.115–118.
3. Миненко П. А. Исследование кристаллического фундамента линейно-нелинейными методами магнитометрии и гравиметрии / П. А. Миненко // Геоинформатика. – К. – 2006. – № 4. – С. 41–45.
4. Миненко П. А. Упрощенные алгоритмы решения обратных задач гравиметрии фильтрационными методами / П. А. Миненко, Р. В. Миненко // Геоинформатика. – К. – 2012. – № 2(42). – С. 27–29.
5. Миненко П. О. Обернені лінійні задачі гравіметрії та магнітометрії з уточнюючими ітераційними поправками вищого порядку / П. О. Миненко // Вісник Київського університету. – 2014. – № 1(64). – С. 78–82.
6. Петровский А. П. Повышение геологической эффективности решения обратных задач геофизики на основе использования критериев оптимальности дифференциального типа / А. П. Петровский // Геоинформатика. – 2004. – № 4. – С. 50–54.
7. Петровский А. П. Математические модели и информационные технологии интегральной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных: дис. ... доктора физ.-мат. наук: 04.00.22 / Петровский А. П. – К., 2006. – 364 с.

8. Старостенко В. И. Сейсмогравитационный метод: принципы, алгоритмы, результаты / В. И. Старостенко, В. Г. Козленко, А. С. Костюкевич // Вісник АН УРСР. – 1986. – № 12. – С. 28–42.
9. Страхов В. Н. Об устойчивых методах решения линейных задач геофизики II. Основные алгоритмы / В. Н. Страхов // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1990. – № 8. – С. 37–64.
10. La Fehr T. R. Fundamentals of gravity exploration / T. R. La Fehr, M. N. Nabighian // SEG. – 2012. – 218 p.
11. Leaman D. E., The gravity terrain correction – practical considerations / D. E. Leaman // Exploration Geophysics. – 1998. – № 29. – P. 467–471.
12. Ma X. Q. Terrain correction program for regional gravity surveys / X. Q. Ma, D. R. Watts // Computers and Geosciences. – 1994. – № 20. – P. 961–972.

References

1. Kobrunov, A.I. (1989). *Teoriya interpretatsii dannykh gravimetrii dlia slozhnopostroyennyykh sred*. Kyiv: MVSSO USSR UMZh VO. [in Russian].
2. Minenko, P.A. (2005). Teoreticheskoe obosnovanie preobrazovaniya modeley resheniya nekorrektnoy lineynoy zadachi gravimetrii v korrektnuyu s optimizatsiej iteratsionnogo processa na osnove uslovno-ekstremalnykh kriteriev. *Teoriya i praktika geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh i magnitnykh anomalij. Proceedings of the 32th Session of D.G. Uspenskii's Internat. Workshop*. (pp. 115–118). Perm, 29.01–01.02.2005. [in Russian].
3. Minenko, P.A. (2006). Issledovanie kristalicheskogo fundamenta lineyno-nelineynymi metodami magnitometrii i gravimetrii. *Geoinformatika*, 4, 41–45. [in Russian].
4. Minenko, P.A., Minenko, R.V. (2012). Uproshchennyye algoritmy resheniya obratnykh zadach gravimetrii filtratsionnymi metodami. *Geoinformatika*, 2(42), 27–29. [in Russian].
5. Minenko, P.O. (2014). Obnereni linijni zadachi gravimetrii tamagnitometrii z tochnijuchimi iteratsijnimi popravkami vishchogo porjadku // *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(64), 78–82. [in Ukrainian].
6. Petrovskij, A.P. (2004). Povyshenie geologicheskoy effektivnosti resheniya obratnykh zadach geofiziki na osnove ispolzovaniya kriteriev optimalnosti differentsialnogo tipa. *Geoinformatika*, 4, 50–54. [in Russian].
7. Petrovskij, A.P. (2006). Matematicheskie modeli i informatsionnye tehnologii integralnoj interpretatsii kompleksa geologo-geofizicheskikh dannykh. *Doctor's dissertation (Geophysics in Phys.-Math. Sciences)*. Kyiv. [in Russian].
8. Starostenko, V.I., Kozlenko, V.G., Kostjuevich, A.S. (1986). Seismogravitatsionnyy metod: principy, algoritmy, rezultaty. *Visnik AN URSS*, 12, 28–42. [in Russian].
9. Strahov, V. N. (1990). Ob ustojchivykh metodah reshenij alineynykh zadach geofiziki. Chapter 2. Osnovnyye algoritmy. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*, 8, 37–64. [in Russian].
10. La Fehr, T.R., Nabighian, M.N. (2012). *Fundamentals of gravity exploration*. SEG, 218 p.
11. Leaman, D.E. (1998). The gravity terrain correction – practical considerations. *Exploration Geophysics*, 29, 467–471.
12. Ma, X.Q., Watts, D.R. (1994). Terrain correction program for regional gravity surveys. *Computers and Geosciences*, 20, 961–972.

Надійшла до редколегії 30.06.15

R. Minenko, MSc
E-mail: maestozo.1_pavel@mail.ru
P. Minenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kryvyi Rih National University
54 Gagarina Ave., Kryvyi Rih, 50086 Ukraine
Yu. Mechnikov, Engineer-Geologist
Kryvyi Rih Geophysical Department
2 Geologichna Str., Kryvyi Rih, 50001 Ukraine

PROBLEM OF SUSTAINABLE SOLUTIONS OF THE INVERSE LINEAR EQUATIONS IN GRAVIMETRY

Purpose – on the based of theoretical examples o develop the methodology for recognition of cases of constant density and its rise or decline with depth. For every example, to find the empirical coefficient functions for correcting the effect of block depths on the value of the basic iterative correction.

The inverse problem of gravimetry is incorrect. Partially incorrectness of their solutions are reduced by the size of grid-block interpretation model of the geological environment, that are equal to the size of the gravity field maps. In such a way sustainable solutions are obtained. If the depth of all layers and the density of the block model are known, the inverse problem of linear gravity in the class of uniqueness of the solution might be to solved for the second part of the blocks. Such problem solvation are are used for structural geology, mainly in oil and gas areas, where many wellsand whole entire area of map are covered by field seismic surveys of geological structures. In the ore regions seismic investigations do not commonly carried out and therefore the morphology of the geological structures is unknown. Much wells are not drilled here. On crystalline shields wells are not always reach the boundary between the sedimentary cover and crystalline rockso they reach a few meters or a few tens of meters below. In such a case a narrow class of uniqueness can only be a single-layer model with blocks in the form of semi-infinite vertical prisms. The results of solving the inverse problem for this model are far from the real density distribution in the geological massif. At changing for a more detailed model, which consists of a limited vertical blocks grouped in horizontal layers, we can observe a reduction in the density of deeper blocks while solving inverse problems of iterative methods for real and theoretical fields , although their actual density does not change with depth. Roman Minenko developed a two-step procedure for the preparation of sustainable and meaningful solutions of inverse linear problems of gravimetry for additional solutions with iterative clarifies amendments. But it is useful only in cases of constant density of highly anomalous bodies in the vertical direction. In this paper, for the cases of rise or decline of density with depth, the basic iterative correction coefficient functions introduced to adjust the depth of its impact on the placement of blocks. Appearance of the functions depend on the direction of changes in rock density. The final distribution of density is usually achieved by using optimization techniques with higher-order corrections.

Keywords: gravimetry, inverse problem, iterative method, iterative correction, optimization criterion, the effect of depth on the amendment.

Р. Миненко, магистр
E-mail: maestozo.1_pavel@mail.ru
П. Миненко, д-р физ.-мат. наук, проф.
Криворожский национальный университет
пр. Гагарина, 54, г. Кривой Рог, 50086, Украина
Ю. Мечников, инженер-геолог
Криворожская геофизическая партия,
ул. Геологическая, 2, г. Кривой Рог, 50001, Украина

ПРОБЛЕМА СОДЕРЖАТЕЛЬНОСТИ УСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ

Цель работы – на теоретических примерах разработать методику распознавания случаев постоянной плотности, ее роста или спада с глубиной, и в каждом случае найти эмпирические коэффициентные функции для исправления влияния глубины до блоков на величину основной итерационной поправки.

Обратные задачи гравиметрии некорректны. Частично некорректность их решений уменьшают выбором размеров сеточной блоковой интерпретационной модели геологической среды, равных размерам карты поля силы тяжести, и получают устойчивые решения. Если глубины ко всем слоям и плотности части блоков модели известны, то для второй части блоков решают обратную линейную задачу гравиметрии (ОЛЗГ) в классе единственности решения. Такие задачи решают для структурной геологии, в основном, в нефтегазовых районах, где много скважин и вся площадь карты поля покрыта сейсмическими исследованиями геологических структур. В рудных районах сейсмические исследования почти не выполняются, а поэтому форма геологических структур неизвестна. Скважин также немного, а на кристаллических щитах они не всегда достигают границы осадочного комплекса с кристаллическими породами или проходят по ним первые метры или первые десятки метров. В таких условиях узким классом единственности может быть только однослойная модель с блоками в форме полубесконечных вертикальных призм. Результаты решения обратной задачи для такой модели далеки от реального распределения плотности в геологическом массиве. С переходом на более детальную модель, которая состоит из ограниченных по вертикали блоков, сгруппированных в горизонтальные слои, в решении обратных задач итерационными методами на теоретических и реальных полях мы наблюдаем уменьшение плотности в более глубоких блоках, хотя реально их плотность с глубиной не меняется. Р.В. Миненко разработал двухэтапную методику получения устойчивого и содержательного решения ОЛЗГ по дополнительному решению с уточняющими итерационными поправками. Но она пригодна только в случаях постоянной плотности высокоаномальных тел в вертикальном направлении. Для случаев роста или спада плотности с глубиной в настоящей работе в основную итерационную поправку введены коэффициентные функции для корректировки влияния на нее глубины размещения блоков. Вид функций зависит от направления изменения плотности пород. Окончательное распределение плотности, как правило, достигается использованием методов оптимизации с уточняющими поправками более высоких порядков.

Ключевые слова: гравиметрия, обратная задача, итерационный метод, итерационная поправка, критерий оптимизации, влияние глубины на поправку.

ПОДІЇ

В. Шунько, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: shunko_v@ukr.net

МОНОГРАФІЯ "НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ УКРАЇНИ"

Починаючи з 2010 р. у світових і вітчизняних засобах масової інформації частим та широко вживаним стало словосполучення "сланцева революція" – впровадження в промислову експлуатацію технологій видобутку газу та легкої нафти з порід, що мають дуже низьку пористість і проникність та водночас є й колектором, і материнською породою, й флюїдотривом. Тільки в США видобуток, зокрема, сланцевого газу за останні 8 років виріс з 54 млрд м³ у 2007 р. до 319 млрд м³ у 2013 р., що вивело цю країну у світові лідери з видобутку газу. За даними Internet, у 2015 р. не тільки США, а й Китай, завдяки саме "сланцевим" технологіям, випередив у видобутку газу Росію. Тому постановка проблеми енергозабезпечення України за рахунок видобутку "сланцевих" газу, нафти, а, в більш широкому сенсі, – й інших нетрадиційних видів вуглеводнів, є вельми актуальною.

У 2010 р. з ініціативи декана геологічного факультету (тепер ННІ "Інститут геології") Київського національного університету імені Тараса Шевченка професора В.А. Михайлова, в рамках госпдоговірних робіт, замовником яких виступила Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України", а виконавцями – творчі колективи науковців Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ДП "Наука нафтогаз", Інституту геології і геохімії горючих корисних копалин НАН України, Експертної ради Співки геологів України, Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та ін., здійснене комплексне дослідження проблеми нетрадиційних ресурсів вуглеводнів України. Результати робіт викладено у фундаментальній колективній монографії "Нетрадиційні джерела вуглеводнів України" з 8 книг, а саме:

Книга I. НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ: ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ. Викладено результати аналізу стану пошуків, розвідки та видобутку нетрадиційних типів вуглеводнів – сланцевого газу, щільного газу, метану вугільних родовищ, сланцевої нафти, газогідратів, вуглеводнів імпактних структур у різних країнах світу. Наведено численні приклади об'єктів такої сировини, описано особливості геологічної будови типових осадових басейнів та родовищ, технології їх розробки та питання охорони довкілля. Розглянуто питання світових ресурсів, запасів та показано важливе значення нетрадиційних типів вуглеводнів для збільшення мінерально-сировинної бази паливно-енергетичного сектору провідних країн світу.

Книга II. ЗАХІДНИЙ НАФТОГАЗОНОСНИЙ РЕГІОН. Проведено узагальнення, аналіз та вивчення геологічної будови можливих покладів вуглеводнів, пов'язаних із чорносланцевими товщами, та газу із ущільнених колекторів Західного нафтогазоносного регіону (НГР). Виділено ділянки, перспективні на сланцевий газ у нижньопалеозойських відкладах на території Волино-Поділля (Рава-Русько-Крехівська, Белзька, Східноліщинська, Давидівська та Байраківська). Оцінено перспектив газоносності ущільнених порід-колекторів відкладів кембрію Волино-Поділля та олігоцену зони Кросно і Скибової зони Українських Карпат. Дано оцінку нафтогазогенераційного потенціалу менілітової світи

олігоцену Внутрішньої зони Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат. Підраховано прогнозні ресурси виділених ділянок.

Книга III. ПІВДЕННИЙ НАФТОГАЗОНОСНИЙ РЕГІОН. На основі геологічного та літолого-стратиграфічного аналізу потенційних структур і товщ, з урахуванням розробленого комплексу факторів локалізації та критеріїв прогнозу покладів вуглеводнів, пов'язаних зі сланцевими й флішевіми товщами, визначено перспективні стратиграфічні комплекси та об'єкти зі сприятливими умовами для формування сланцевого газу та сланцевої нафти в межах Південного нафтогазоносного регіону України. До перспективних стратиграфічних комплексів віднесено девон і карбон Передбродзького прогину, верхню частину нижньої крейди Рівнинного Криму. До об'єктів з невизначеними перспективами відносяться таврійська серія Криму та олігоцен-нижньоміоценова майкопська серія.

Книга IV. СХІДНИЙ НАФТОГАЗОНОСНИЙ РЕГІОН: АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. На основі аналізу численного матеріалу по Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ) і власних аналітичних досліджень проведено регіональну прогнозну оцінку її території на нетрадиційні види покладів вуглеводнів. Виділено перспективні площі ДДЗ для пошуків сланцевого газу та сланцевої нафти, ущільненого газу. Визначено параметри (кількість, потужність і глибина залягання продуктивних горизонтів) і показники (вміст S_{org} , TOC , R_o) потенційно газоносних товщ перспективних площ південно-східної (Артемівська, Євгенівська, Зачепилівська, Гашинівська) та північно-західної (Ніжинська, Хорольська, Кінашівська) частин ДДЗ.

Книга V. ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ РЕСУРСІВ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ ТА СЛАНЦЕВОЇ НАФТИ В СХІДНОМУ НАФТОГАЗОНОСНОМУ РЕГІОНІ. На основі аналізу численного матеріалу по території Східного НГР України (який у цілому відповідає ДДЗ) виконано регіональну та зональну прогнозні оцінки її території на наявність скупчень сланцевого газу та сланцевої нафти. Визначено перспективні стратиграфічні комплекси зі сприятливими умовами для формування сланцевого газу та сланцевої нафти (верхньодевонський, нижньокам'яновугільний, середньокам'яновугільний, верхньокам'яновугільний). Виділено перспективні зони для пошуків сланцевого газу та нафти. Виконано оцінку ресурсів сланцевого газу Східного НГР.

Книга VI. ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ РЕСУРСІВ ГАЗУ ЩІЛЬНИХ ПОРІД У СХІДНОМУ НАФТОГАЗОНОСНОМУ РЕГІОНІ. На основі комплексного аналізу геолого-геофізичних і геолого-промислових даних по території Східного НГР, із урахуванням світового досвіду з освоєння газоносного потенціалу ущільнених порід, обґрунтовано основні критерії оцінки їх перспективності. Визначено найбільш перспективні стратиграфічні комплекси для пошуку газу в ущільнених породах. Встановлено закономірності просторового поширення ущільнених порід, перспективних у газоносному відношенні, визначено перспективні зони. Виконано кількісну оцінку ресурсів газу високоперспективних зон і визначено першочергові ділянки для проведення геологорозвідувальних робіт (ГРР).

Книга VII. МЕТАН ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ, ГАЗОГІДРАТИ, ІМПАКТНІ СТРУКТУРИ І НАКЛАДЕНІ ЗАПАДИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА. Як нетрадиційну чи альтернативну вуглеводневу сировину розглянуто метан вугільних родовищ, газогідрати Чорного та Азовського морів, перспективи нафтогазоносності імпактних структур України. Показано, що метан вугільних родовищ України є перспективною супутньою корисною копалиною, ресурси якої у Донецькому вугільному басейні перевищують 3,0-3,5 трлн м³. Розглянуто питання розповсюдження газогідратних покладів Азово-Чорноморського басейну, де їхні ресурси попередньо оцінюються в 7-10 трлн м³. Проведено узагальнення матеріалів, вивчено морфологічні особливості, глибинну будову, прояви ударного метаморфізму, петрофізичні та геохімічні особливості порід, нафтогенерацийний потенціал Іллінецької, Західної, Ротмистрівської, Болтиської, Оболонської, Зеленогайської, Тернівської імпактних структур УЩ.

Книга VIII. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕСУРСІВ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВУГЛЕВОДНІВ ОСАДОВИХ БАСЕЙНІВ УКРАЇНИ. Розроблено комплекс факторів локалізації та критеріїв прогнозу покладів нетрадиційних вуглеводнів; визначено перспективні стратиграфічні комплекси порід; встановлено генеруючий потенціал нафтоматеринських порід, типи керогену, температурну зрілість сланцевих відкладів та ущільне-

них пісковиків; побудовано геолого-геофізичні моделі перспективних стратиграфічних комплексів; проведено оцінку прогнозних ресурсів нетрадиційних покладів вуглеводнів; наведено методичні рекомендації з освоєння прогнозних ресурсів нетрадиційних покладів вуглеводнів; наведено рекомендації щодо подальших ГРР.

При виконанні досліджень автори використали практично весь доступний на поточний момент матеріал – від природних відслонень і керну свердловин, що зберігається в стаціонарних зерносховищах, або ж був отриманий нещодавно в процесі пошукового й розвідувального буріння, до сотень звітів виробничих і наукових організацій, які зберігаються у відповідних фондах; загальний список використаних джерел перевищує 1500 найменувань. При цьому кам'яний матеріал досліджено комплексом методів у найсучасніших і найавторитетніших лабораторіях України.

Таким чином, книги слід розглядати як фундаментальну, сучасну, створену на високому професійному рівні базу даних нетрадиційних джерел вуглеводнів України, яка може бути основою для прогнозування та планування робіт з енергозабезпечення України як у тактичному, так і в стратегічному відношеннях. Використовувати таку інформаційну базу можна на рівнях від галузевого до загальнодержавного, де рішення приймаються вищим політичним керівництвом держави.

Надійшла до редколегії 30.08.15.

V. Shunko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: shunko_v@ukr.net

MONOGRAPH "UNCONVENTIONAL HYDROCARBON RESOURCES OF UKRAINE"

В. Шунько, канд. геол.-минералог. наук, доц.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская 90, г. Киев, 03022 Украина
E-mail: shunko_v@ukr.net

МОНОГРАФИЯ "НЕТРАДИЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ УГЛЕВОДОРОДОВ УКРАИНЫ"

Наукове видання



ВІСНИК КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 3(70)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування Ю.А. Тимченко

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 9,53. Наклад 300. Зам. № 215-7590.
Вид. № ГлЗ. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.
Підписано до друку 15.10.15

Видавець і виготовлювач
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; тел./факс (38044) 239 31 28
e-mail: vpc@univ.kiev.ua
http: vpc.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02