

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

І. М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О. І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); В. Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С. А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З. О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В. М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; О. В. Дубина, д-р геол. наук, В. М. Загнітко, д-р геол.-мінерал. 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.-мінерал. 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.-мінерал. наук, проф.; В. Г. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б. П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О. Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінерал. 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, проф.; О. Л. Шевченко, д-р геол. наук, доц.; В. В. Шевчук, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; С. Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; Т. В. Пастушенко, канд. філол. наук, доц.; Т. А. Мірончук, канд. філол. наук, доц.

Іноземні члени редакційної колегії:

М. Бур'яник, Шелл Глобал Солюшн Інтернешнл, Нідерланди; Л. Верник, Нафтова корпорація Маратон, США; А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; К. Зенг, Китайський геологічний університет, Китай; М. Короновський, Московський державний університет імені М. В. Ломоносова, Росія; Д. Ленц, Університет Нью-Брансвік, Канада; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; 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 ім. Федеріко II, Італія; О. Ханчук, Далекосхідний геологічний інститут, Росія

Адреса редколегії

03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, ННІ "Інститут геології",
☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/>.

Затверджено

Вченою радою ННІ "Інститут геології"
26.09.17 року (протокол № 2)

Атестовано

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

Зареєстровано

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

Засновник
та видавець

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

Адреса видавця

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

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Chief publication manager O. Menshov

Formatting and adjustment by O. Kozionova

EXECUTIVE EDITOR

EDITORIAL BOARD

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

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.; V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Dubyna, Dr. Sci. (Geol.); 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.), Prof.; O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. 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 Federico II, Italy; O. Khanchuk, Far East Geological Institute, Russia.

Address

Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine,
tel. +380442597030, e-mail: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/>

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
September 26, 2017 (Minutes # 2)

Certified by the

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

Certified by the

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

Founded and published by

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

Address:

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

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Мєнасова А.

Імовірний механізм походження відбитків виду *Nemiana simplex* Palij..... 6

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Митрохин О., Омельченко А., Митрохина Т., Гаценко В., Вишневська Є., Михальченко І.

Постмагматичні зміни в породах долерит-діабазової формації
Новоукраїнського дайкового поля (Інгульський мегаблок Українського щита)..... 11

ГЕОФІЗИКА

Кендзера О., Семенова Ю.

Деформаційні характеристики розрахункових моделей ґрунтової товщі 17

Дейнеко С., Вижва С., Нестеренко Г., Берневек А., Іващенко С.

Сейсмоакустичний моніторинг стану ґрунтів Дністровського схилу
(у зоні розміщення напірно-стаціонарного вузла) 30

Малицький Д., Муровська А., Обідна О., Гнип А., Грицай О., Павлова А., Пугач А.

Визначення полів напружень у земній корі за механізмами вогнищ місцевих землетрусів у Закарпатті..... 36

Стахів І., Цюпа І., Бондар К., Король А.

Магнітна сприйнятливість як індикатор забруднення ґрунтів викидами автотранспорту в Одесі..... 46

Нікітченко К.

Сучасні підходи до виділення та моделювання магнітного поля літосфери 51

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Михайлов В., Загнітко В.

Геохімічні особливості майкопської серії Кримсько-Чорноморського регіону 60

Багрій І., Стародубець К., Гордєєва Ю., Семенюк В.

Гідрогеосинергетична біогенно-мантійна гіпотеза утворення вуглеводнів та її роль при обґрунтуванні
прямопошукової технології 71

Мізерна М., Д'ячков Б., Мирошнікова А., Мізерний А., Оразбекова Г.

Великі сульфідно-кварцові штокверкові родовища золота Казахстану –
умови формування, критерії прогнозування 82

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Шевченко О., Кошляков О.

Визначення прогнозних техніко-економічних показників експлуатації родовищ
підземних вод за емпіричними залежностями..... 89

ІСТОРІЯ НАУКИ

Іванік О.

Наукова спадщина професора С.А.Мороза
та втілення його світоглядницьких ідей у сучасну геологічну науку..... 95

Шабатура О.

Заслужений професор Київського університету Толстой Михайло Іванович – геолог-геофізик..... 99

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Mienasova A.

Possible origin of <i>Nemiana simplex</i> Palij imprints	6
--	---

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Mitrokhin A., Omelchenko A., Mytrokhyna T., Gatsenko V., Vishnevskaya E., Mihalchenko I.

Postmagmatic alteration in the dolerite-diabase association rocks of the Novoukrainka dyke field (Ingul terrain of the Ukrainian shield)	11
---	----

GEOFYSICS

Kendzera A., Semenova Yu.

Deformation characteristics of computational models of soil strata	17
--	----

Deineko S., Vyzhva S., Nesterenko G., Bernevek A., Ivaschenko S.

Seismo acoustical monitoring of the state of the soils of the Dniestrian slope (in the zone of accommodation of the pressure-stationary unit)	30
--	----

Malytskyy D., Murovska A., Obidina O., Gnyp A., Grytsai O., Pavlova A., Pugach A.

Determining the stress field in earth's crust from source mechanisms of local earthquakes in the Transcarpatians	36
---	----

Stakhiv I., Tsiupa I., Bondar K., Korol A.

Magnetic susceptibility as indicator of vehicle pollution of the topsoil in Odesa city	46
--	----

Nikitchenko K.

Modern approaches allocation and the lithosphere magnetic field modeling	51
--	----

MINERAL RESOURCES

Mykhailov V., Zagnitko V.

Geochemical features of Maikop series of Crimean and Black Sea region	60
---	----

Bagriy I., Starodubets K., Gordieieva Yu., Semenyuk V.

Hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon origin and its involvement into direct prospecting technology justification	71
--	----

Mizernaya M., Dyackov B., Miroshnikova A., Mizerny A., Orazbekova G.

Large sulfide-quartz stockwork gold deposits of Kazakhstan-formation conditions and predicting criteria	82
--	----

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Shevchenko O., Koshliakov O.

Determination of forecasting technical and economic indices exploitation underground water for empirical relationships	89
---	----

HISTORY OF SCIENCE

Ivanik O.

Scientific heritage of professor S.A. Moroz and the implementation of its ideas to contemporary geological science	95
---	----

Shabatura O.

Professor emeritus of the Kyiv university, Tolstoy Mykhaylo – geologist-geophysicist	99
--	----

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Менасова А.

Вероятный механизм происхождения отпечатков вида <i>Nemiana simplex</i> Palij	6
---	---

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Митрохин А., Омельченко А., Митрохина Т., Гаценко В., Вишневская Е., Михальченко И.

Постмагматические изменения в породах долерит-диабазовой формации Новоукраинского дайкового поля (Ингульский мегаблок Украинского щита)	11
--	----

ГЕОФИЗИКА

Кендзера А., Семенова Ю.

Деформационные характеристики расчетных моделей грунтовой толщи	17
---	----

Дейнеко С., Выжва С., Нестеренко Г., Берневек А., Иващенко С.

Сейсмоакустический мониторинг состояния грунтов Днестровского склона (в зоне размещения напорно-стационарного узла)	30
--	----

Малицкий Д., Муровская А., Обидина О., Гнып А., Грыцай О., Павлова А., Пугач А.

Определение полей напряжений в земной коре по механизмам очагов землетрясений на Закарпатье	36
--	----

Стахов И., Цюпа И., Бондарь К., Король А.

Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения почв выбросами автотранспорта в Одессе	46
--	----

Никитченко К.

Современные подходы к выделению и моделированию магнитного поля литосферы	51
---	----

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Михайлов В., Загнитко В.

Геохимические особенности майкопской серии Крымско-Черноморского региона	60
--	----

Багрий И., Стародубец К., Гордеева Ю., Семенюк В.

Гидрогеосинергетическая биогенно-мантийная гипотеза образования углеводородов и ее роль при обосновании прямопоисковой технологии	71
--	----

Мизерная М., Дьячков Б., Мирошникова А., Мизерный А., Оразбекова Г.

Крупные сульфидно-кварцевые штокерковые месторождения золота Казахстана – условия формирования, критерии прогнозирования	82
---	----

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Шевченко А., Кошляков О.

Определение прогнозных технико-экономических показателей эксплуатации месторождений подземных вод по эмпирическим зависимостям	89
---	----

ИСТОРИЯ НАУКИ

Иваник Е.

Научное наследие профессора С.А. Мороза и внедрение его мировоззренческих идей в современную геологическую науку	95
---	----

Шабатура А.

Заслуженный профессор Киевского университета Толстой Михаил Иванович – геолог-геофизик	99
--	----

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 55:551(477.74)

А. Мєнасова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: mangelina@ukr.net

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

ІМОВІРНИЙ МЕХАНІЗМ ПОХОДЖЕННЯ ВІДБИТКІВ ВИДУ *NEMIANA SIMPLEX* PALIJ

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

Найпоширенішим представником едіакарської фауни у відкладах венду Подільського Придністров'я є вид *Nemiana simplex* Palij. Відбитки являють собою округлі в плані опуклі диски з гладкою поверхнею і трактується як рештки багатоклітинних безскелетних тварин, що вели прикріплений спосіб життя і, як вважається, захоронювались *insitu*. Дані відбитки достовірно відомі з відкладів венду Подільського Придністров'я, Зимового берега Білого моря, Оленьокського підняття на півночі Сибірської платформи, а також в пізньодокембрійських відкладах Канади, Китаю та Австралії.

У районі Канієського заповідника автор мала змогу спостерігати утворення, що дуже нагадують неміан – біля берега, на дні мікрозаток були скупчення піщаних горбочків діаметром від 3 до 8 мм і заввишки до 3 мм.

Під шаром піску, потужність якого становить 2–4 мм, залягає алевротитистий мул чорного кольору з характерним запахом сірководню. Утворення цих горбочків, імовірно, є результатом життєдіяльності своєрідного мікробного мату, у формуванні якого беруть участь багато різних мікроорганізмів. Автор вважає, що механізм формування структур типу *Nemiana simplex* Palij близький до механізму утворення строматолітів, тобто поверхня мату під час зміни рівня води поступово заноситься піском, а мікроорганізми або мігрують вгору крізь шар піску, що накопичується, або переходять тимчасово в латентний стан з наступною реколонізацією осада. При цьому осадок упорядковується, тобто стає шаруватим. А у випадку загибелі колонії зовнішня оболонка деякий час зберігає форму, що робить можливим утворення зліпків на нижній поверхні нашарування.

Ключові слова: неміани, венд, едіакарська фауна, Подільське Придністров'я, мікробний мат.

Вступ та аналіз попередніх досліджень і публікацій. Як відомо, найпоширенішим представником едіакарської фауни у відкладах венду Подільського Придністров'я є вид *Nemiana simplex* Palij [5]. На частку неміан припадає понад половини знахідок Metazoa в цьому ре-

гіоні. Викопні рештки являють собою округлі в плані опуклі диски з гладкою поверхнею, які лежать на підшвах верств пісковиків і до недавнього часу трактувалися більшістю дослідників як відбитки багатоклітинних безскелетних тварин, що вели прикріплений спосіб життя (рис. 1).

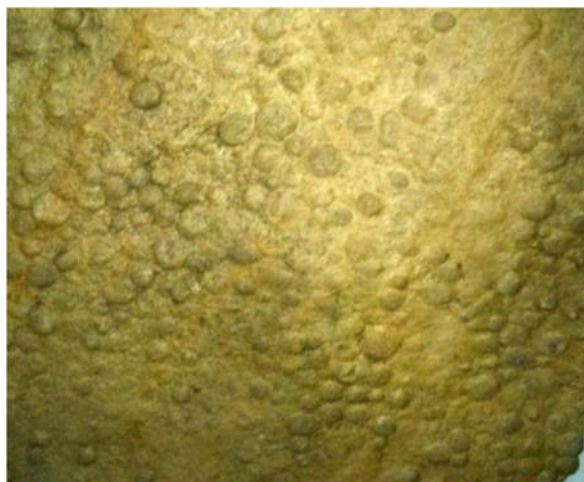


Рис. 1. Вид *Nemiana simplex* Palij

Неміани, як вважається, захоронювались *insitu* і найчастіше зустрічаються групами від декількох до сотень екземплярів, іноді вкриваючи поверхню нашарування суцільною ковдрою, площа якої може сягати десятки і навіть сотні квадратних метрів. Іноді, якщо пісковик більш-менш вивітрілий, неміани відокремлюються від породи у вигляді сплющеного сфероїда, плоского диска або двоякоопуклої лінзи.

Крім Придністров'я, подібні рештки відомі з відкладів венду Зимового берега Білого моря, Оленьокського підняття на півночі Сибірської платформи і в пізньодокембрійських відкладах Канади, Китаю та Австралії.

Відбитки неміан у Придністров'ї в літературних джерелах згадуються з початку ХХ ст. імовірно завдяки своєму значному поширенню у відкладах певного стратиграфічного рівня. Тлумачення даних питань у різні часи пропонувалось найрізноманітніше. Деякі дослідники визначали

їх як утворення неорганічної природи, що залишилися від водяних крапель [3, 8]. Подібна інтерпретація можливо пов'язана з тим, що в негативному епірельєфі неміани мають вигляд ізометричних або близьких до таких депресій.

У пізніших роботах [4] з відкладів ямпільського горизонту могиливіської світи наведено описи своєрідних піщаних "пухирів", які місцями тисячами вкривають плити пісковиків. Автор вважав їх результатом впливу річкових хвиль, що набігають на низький піщаний берег, і вказував на аналогічні утворення на пляжах деяких сучасних рівнинних річок.

Припущення про органічну природу цих проблематичних відбитків уперше висловлюється в статті О. К. Каптаренко [2]. Вона їх трактує як відбитки викопних медуз. Згадки про знахідки подібних викопних решток у цих самих стратиграфічних горизонтах є й у монографії Т. Васкауцану (1931), які він визначав як лінгули або оболуси.

Відбитками викопних медуз, принаймні спочатку, їх вважали і В. С. Заїка-Новацький і В. М. Палій, який і описав цей рід у 1976 р. [6], а М. В. Леонов стверджує, що вони належать бентосним губкоподібним тваринам [10]. На сьогоднішній день найбільшим поширенням користуються уявлення про належність відбитків неміан до псамокоралів [11], але деякі дослідники говорять і про їхню ціанобактеріальну природу [9, 12].

Метою даної роботи була спроба дослідження механізму утворення відбитків, подібних до найпоширеніших викопних решток Подільського Придністров'я.

Основний матеріал дослідження. Декілька років тому, у районі Канівського заповідника на березі

р. Дніпро, я спостерігала утворення, які дивним чином нагадували неміан, тільки не викопних, а сучасних. На ділянці берега від м. Канів до с. Пекарі через кожні 100–150 м насипані так звані "шпори" – поперечні вали із кам'яних брил – своєрідні хвилерізи (у гідрогеології вони називаються буні), що уповільнюють течію. Крім того, двічі на день спускається вода з Канівського водосховища, створюючи ефект "припливно-відливної" хвилі. У результаті взаємодії цих двох факторів біля берега подекуди утворюються мікрозатоки (рис. 2) із практично стоячою водою, рівень якої то збільшується (залежно від кількості води, що спускається з водосховища), то зменшується майже до нуля.



Рис. 2. Мікрозатока біля "шпори"

На дні цих маленьких заток і розташовані сучасні "неміани", які являють собою піщані горбочки діаметром від 3 до 8 мм і заввишки до 3 мм (рис. 3). Під шаром піску, потужність якого становить 2–4 мм лежить алевритистий мул чорного кольору з характерним запахом сірководню.

Важко стверджувати напевно, оскільки спеціальних досліджень не проводилось, але утворення подібних "горбочків" може бути результатом дії своєрідного мікробного мату, у формуванні якого бере участь велика кількість

найрізноманітніших мікроорганізмів – наприклад, автотрофами можуть служити бактерії, що здійснюють неокисневий фотосинтез, а гетеротрофами – факультативні аероби, які можуть використовувати кисень, але за його відсутності здатні задовольняти енергетичні потреби не диханням, а бродинням. Під верхнім шаром осада, в якому відбуваються процеси фотосинтезу і який можна назвати фотичною зоною мату, розташована більш потужна безкиснева зона, в якій процвітають різноманітні анаероби, що не потребують молекулярного кисню [1].



Рис. 3. Сучасні "неміани"

Можна припустити, що екологічна обстановка, принаймні у могилівський час, у Подільському Придністров'ї була схожа на ту, в якій існували строматоліти в більш глибокому докембрії.

За відсутності взагалі будь-якої наземної рослинності нахилені субстрати тоді розмивалися в рази швидше, майже горизонтальні рівнини займали величезні

площі практично на рівні мілководних басейнів, рівень води в яких постійно змінювався. Берегової лінії як такої не існувало – ані суша, ані море в сучасному розумінні цього слова – тобто територія, безпосередньо прилегла до води, то заливалась водою, то тією чи іншою мірою осушувалась [7].

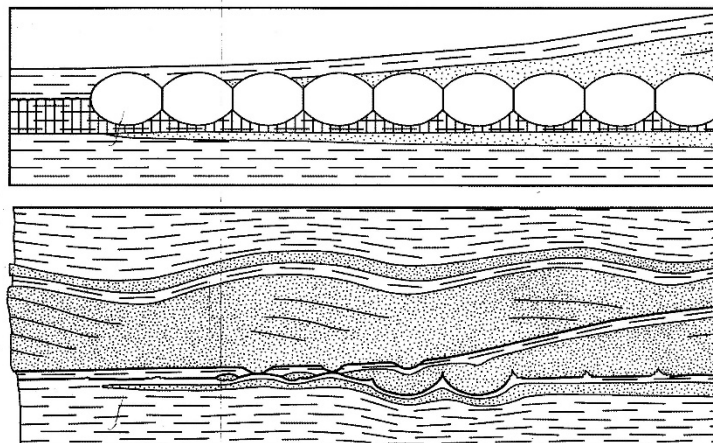


Рис. 4. Схема утворення зліпків "неміан" (за А. Yu. Ivantsov et al, 2014)

У цих умовах і відбувалось формування структур типу *Nemiana simplex* Palij і подібних до них, таких як *Beltanelliformis* (=Beltanelloides), *Bronicella*, *Medusinities*, *Hagenetta*, *Namamedusium*. Так само, як і при утворенні строматолітів, поверхня поступово заноситься піском під час зміни рівня води, а мікроорганізми або мігрують угору крізь шар піску, що накопичується, або тимчасово переходять у латентний стан з наступною реколонізацією поверхні осаду, який в результаті впорядковується, тобто стає шаруватим. А у випадку загибелі колонії зовнішня зона матриксу поводить себе як порожня оболонка з більш високою густиною, так само, як і в деяких сучасних прокариот, здатних до утворення сферичних колоній з тривалим терміном існування, що являють

собою численні ціанобактеріальні клітини, організовані в однорядні трихоми і занурені в слизовий зовнішній матрикс. У викопному стані можливе їхнє зберігання у вигляді аморфного чи дискподібного відбитка або, якщо осадок потрапляє всередину, й об'ємного зліпка (рис. 4). Але речовина, з якої ця оболонка складалась, в умовах підвищеної циркуляції порових розчинів (що є звичайним для піщаного осаду) швидко розчинялась. Тому на підшві шарів піщавику знаходять тільки відбитки або зліпки, принаймні поки що.

На користь ціанобактеріальної природи цих утворень говорить і те, що поруч з ними вкрай рідко зустрічаються відбитки інших вендських метазоа [9].



Рис. 5. Шаруватість у ямпільських піщавиків з неміанами. Кар'єр Дністровської ГЕС

Треба зауважити, що умови для утворення подібних формувань створюються далеко не кожного року. Під час щорічного (протягом 13 років) перебування в Канівському заповіднику в липні вдалося спостерігати подібні структури лише двічі – й обидва рази це були посушливі роки. Імовірно це пов'язано з тим, що після спуску води з водосховища прибережна частина осушується значно сильніше і води залишається зовсім мало. Це, у свою чергу, полегшує доступ кисню до мікробного мату, що створює сприятливіші умови для розвитку бактерій, які структурують осадок.

Непрямим підтвердженням подібного механізму може служити та обставина, що, наприклад, у кар'єрі Дністровської ГЕС ямпільські піщавики в нижній частині – масивні, зливні, а у верхній (там, де відбитки неміан зустрічаються іноді у вигляді суцільного покриття) – тонкоплитчасті (рис. 5).

Це, у свою чергу, дає підстави вважати, що екологічна обстановка в останній чверті ямпільського часу дещо змінилась.

Що ж стосується піщаних пухирів, про які писав Л. Ф. Лунгерсгаузен, – подібні утворення дійсно можна спостерігати час від часу й у великій кількості. Формуються вони, імовірно, саме за тим механізмом, на який дослідник і вказував – у результаті впливу річкової хвилі, що набігає на низький піщаний берег, повітря потрапляє під шар піску і деякий час там знаходиться. А потім під впливом тих самих хвиль воно з піску вичавлюється. Зустрічаються такі "споруди" доволі часто, але повітря дуже швидко з них виходить – буквально протягом декількох днів, і на місці пухирів утворюються ямки, які швидко затягуються піском (рис. 6, а, б).

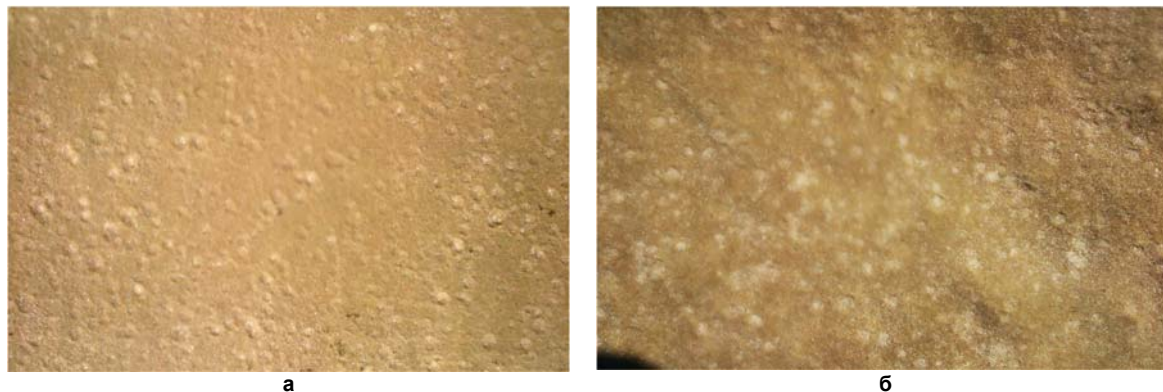


Рис. 6. Піщані пухири в береговій смузі (а) та ямки, що залишаються від пухирів (б)

Висновки. Накопичені на сьогоднішній день дані дають змогу припускати, що насичення атмосфери киснем відбулося значно раніше, ніж на початку кембрію, а саме – близько 1,9–2 млрд років тому. Вважається, що на той момент вміст кисню в атмосфері досяг точки Пастера (1 % від сучасного), і з того часу починається формування озонового шару, який, як відомо, запобігає згубному впливу ультрафіолетового випромінювання на живі організми, а це, у свою чергу, значно розширює діапазон місць, придатних для життя. Тому в припущенні про існування мікробних матів у прибережних частинах і по берегах вендських морів немає нічого неможливого.

І, безумовно, механізм утворення відбитків неміан, викладений вище, потребує подальшого дослідження і підтвердження в інших регіонах, де має місце наявність подібних умов – клімат, низький берег, складений достатньо тонкозернистим теригенним матеріалом, припливно-відливні рухи, які забезпечують проникнення води вглиб суходолу тощо. Але напевно чи берег Дніпра в районі Канівського заповідника є місцем настільки унікальним, що ніде у світі не знайдеться нічого подібного. І, виходячи з цієї обставини, що ціанобактерії існують у майже незмінному стані близько 3,8 млрд років, можна сподіватись, що перспективи знайти сучасних "неміан" і з'ясувати цей механізм безперечно існують.

Список використаних джерел

1. Есков К. Ю. История Земли и жизни на ней / К. Ю. Есков. – М.: МИРОС, 2000. – 257 с.
2. Каптаренко О. К. Загадкові копальні форми із силурських пісковиків Західного Поділля / О. К. Каптаренко // Тр. Укр. наук.-досл. геолог. розвід. ін-ту. – 1928. – С. 87–103.
3. Красовский А. В. Из геологических наблюдений в Подольской губернии / А. В. Красовский. // Зап. Импер. об-ва любителей естеств., антроп. и этногр. – 1916. – С. 22–27.
4. Лунгесгаузен Л. Ф. Этапы развития Подольской платформы и ее Причерноморского склона / Л. Ф. Лунгесгаузен // Тр. нефт. конф. – К.: Из-во АН УССР. – 1939. – С. 107–148.
5. Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы. Среднее Приднестровье и Волинь / А. Ю. Иванцов, В. П. Гриценко, В. М. Палий, В. А. Великанов и др. – М.: ПИН РАН, 2015. – 144 с.
6. Палий В. М. Остатки бесскелетной фауны и следы жизнедеятельности из отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Подолии / В. М. Палий // Палеонтология и стратиграфия верхнего докембрия и нижнего палеозоя юго-запада Восточно-Европейской платформы. – К.: Наук. думка. – 1976. – С. 63–77.
7. Пономаренко А. Г. Основные события в эволюции биосферы / А. Г. Пономаренко // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. – М.: Наука. – 1993. – С. 15–25.
8. Сташук М. Ф. Літологічні особливості давньопалеозойських відкладів Придністров'я / М. Ф. Сташук // Тр. ІГН АН УРСР; Сер. стратиграф. та палеонтол. – 1958. – Вип. 21. – С. 43.
9. Leonov M. V. Comparative taphonomy of Vendian genera *Beltanelloides* and *Nemiana*: Taxonomy and lifestyle / M. V. Leonov // Geol. Soc. London Spec. Publ. – 2007 – Vol. 286. – P. 259–267.
10. Revision of the Problematic Vendian Macrofossil *Beltanelliformis* (= *Beltanelloides*, *Nemiana*) / A. Yu. Ivantsov, V. P. Gritsenko, L. I. Konstantinenko, M. A. Zakrevskaya // Paleontological Journal. – 2014. – Vol. 48. – № 13. – P. 1423–1448.
11. Seilacher A., Vendobionta and Psammocorallia: Lost constructions of Precambrian evolution / A. Seilacher // J. Geol. Soc. London. – 1992. – Vol. 149. – P. 607–613.
12. Steiner M. Chuariacircularis Walcott 1899 – "Megasphaeromorph acritarch" or prokaryotic colony? / M. Steiner // Acta Univ. Carolinae, Geol. – 1997. – Vol. 40. – P. 645–665.

References

1. Eskov, K. U. (2000). The Earth history and life's one on it. Moscow: MIROS, 257 p. [in Russian].
2. Kaptarenko, O. K. (1928). Mysterious fossils from Silurian sandstones. *The oil-prod. geol.-prosp. Ukrainian institute proceedings*, 2, 87–103. [in Ukrainian].
3. Krasovsky, A. V. (1916). From the geological observations of the Podolia province. *S. amateurs of natur. scien., anthropol. and ethnogr. notes*, 22–27. [in Russian].
4. Lungershausen, L. F. (1939). Stages of development of the Podolia platform and its Black Sea slope. *The oil conference proceedings*. Kyiv: Publish. Academy of Science of Ukraine, 107–148. [in Russian].
5. Ivantsov, A. Yu., Gritsenko, V. P., Paliy, V. M., Velikanov, V. A. et al. (2015). Upper Vendian macrofossils of Eastern Europe. Middle Dniester area and Volhynia. Moscow: PIN RAS, 144 p. ISBN 978-5-903825-32-5. [in Russian and English].
6. Paliy, V. M. (1976). The remains of soft-bodied fauna and ichnofossils from Upper Precambrian and Lower Cambrian deposits. *Palaeontology and Stratigraphy of Upper Precambrian and Lower Paleozoic of the East European platform*. Kyiv: Naukova dumka, 63–77. [in Russian].
7. Ponomarenko, A. G. (1993). The main events of biosphere's evolution. Biotical dependence of the ecological crises. *The Problems of Pre-anthropogenic biosphere's evolution*. Moscow: Nauka, 15–25. [in Russian].
8. Staschuk, M. F. (1958). Lithological property of Early Paleozoic deposits in Dniester region. *Proceedings of Institute science of geology Academy of Science of Ukraine*, 21, 43. [in Ukrainian].
9. Leonov, M. V. (2007). Comparative taphonomy of Vendian genera *Beltanelloides* and *Nemiana*: Taxonomy and lifestyle. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 286, 259–267.
10. Ivantsov, A. Yu., Gritsenko, V. P., Konstantinenko, L. I., Zakrevskaya, M. A. (2014). Revision of the Problematic Vendian Macrofossil *Beltanelliformis* (= *Beltanelloides*, *Nemiana*). *Paleontological Journal*, 48, 13, 1423–1448.
11. Seilacher, A. (1992). Vendobionta and Psammocorallia: Lost constructions of Precambrian evolution. *J. Geol. Soc. London*, 149, 607–613.
12. Steiner, M. (1997). Chuaria circularis Walcott 1899 – "Megasphaeromorph acritarch" or prokaryotic colony? *Acta Univ. Carolinae, Geologica*, 40, 645–665.

Надійшла до редколегії 14.06.17

A. Mienasova, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: mangelina@ukr.net
Tel. +0380442597026
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

POSSIBLE ORIGIN OF NEMIANA SIMPLEX PALIJ IMPRINTS

Nemiana simplex Palij is the most prevalent form of Ediacaran fauna in Podolia region. Imprints are round convex discs with smooth surface and are considered to be the remains of soft-bodied organisms. They led attached mode of life and were buried in situ. *Nemiana* remains are known from Vendian sequences of Podolia region, Yorga Formation of the White Sea area, Olenek uplift in the Siberian Platform, in Upper Precambrian deposits of Canada, China and Australia.

Near Kaniv State Nature Reserve the author observed the formations, which look like modern "nemiana". Bottom of the microbays is covered with little sand hillocks. Their diameter is 3-8 mm and height is to 3 mm. Sand thickness is 2-4 mm. There is aleurite clay under the sand layer with peculiar hydrogen sulphide smell. These hillocks are, probably, the result of microbial mats life activity. These mats were formed by a lot of different microorganisms.

Author considers *Nemiana simplex Palij* to have been formed the same way as stromatolites: mat surface is gradually covered with sand when the water level changes. And microorganisms either migrate up through the sediment layer, which accumulates, or temporarily pass into latent state with consequent recolonization of the sediment. As a result, the sediment is structured, as in the case of stromatolites, it becomes layered. As a colony dies, the external zone of the matrix behaves for some time as a hollow envelope. And, it can be preserved in fossil condition as a discoidal imprint or, if sediment penetrates inside, a three-dimensional mold.

Keywords: *nemiana*, Vendian, Ediacaran fauna, Podolia region, microbial mat.

А. Менасова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: mangelina@ukr.net
Тел. +0380442597026
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ВИДА NEMIANA SIMPLEX PALIJ

Самым распространенным представителем эдиакарской фауны в отложениях венда Подольского Приднестровья является вид *Nemiana simplex Palij*. Отпечатки представляют собой округлые выпуклые диски с гладкой поверхностью и трактуются как остатки бесскелетных организмов, которые вели прикрепленный образ жизни и захоранивались *insitu*. Данные отпечатки достоверно известны из отложений венда Подольского Приднестровья, Зимнего берега Белого моря, Оленёкского поднятия на севере Сибирской платформы, а также в позднедокембрийских отложениях Канады, Китая и Австралии.

В районе Каневского заповедника (Черкасская область, Украина) автор имела возможность наблюдать образования, удивительным образом напоминающие немиан – возле берега, на дне микрозаливчиков находились скопления песчаных бугорков диаметром от 3 до 8 мм и высотой до 3 мм.

Под слоем песка, мощность которого составляет 2–4 мм, находится алевролитистый ил черного цвета с характерным запахом сероводорода. Образование этих холмиков является, вероятно, результатом жизнедеятельности микробного мата, в формировании которого принимает участие великое множество различных микроорганизмов.

Автор считает, что механизм образования структур типа *Nemiana simplex Palij* подобен механизму образования строматолитов, т.е. поверхность мата во время изменения уровня воды постепенно заносится песком, а микроорганизмы или мигрируют вверх через слой песка, который накапливается, или переходят временно в латентное состояние с последующей реколонизацией осадка. При этом осадок в результате структурируется, т.е. становится слоистым. А в случае гибели колонии внешняя оболочка некоторое время сохраняет форму, что делает возможным образование слепков на нижней поверхности напластования.

Ключевые слова: немианы, венд, эдиакарская фауна, Подольское Приднестровье, микробный мат.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 55(477)+551.22+552.3+550.4

О. Митрохин, д-р геол. наук, проф.

E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua,

А. Омельченко, канд. геол. наук, інж.

E-mail: alnika@ukr.net,

Т. Митрохина, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.

E-mail: tanussa@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

В. Гаценко, канд. геол. наук, докторант, ст. наук. співроб.

E-mail: vera.gatsenko@ukr.net

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

пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна,

Є. Вишневська, канд. геол. наук, пров. геолог

E-mail: genyvishevskia@mail.ru.

КП "Кіровогеологія", вул. Кіквідзе, 8/9, м. Київ, 01103, Україна,

І. Михальченко, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: alcoldan@i.ua

Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України

пр. Акад. Палладіна, 34, а, м. Київ, 03680, Україна

**ПОСТМАГМАТИЧНІ ЗМІНИ В ПОРОДАХ ДОЛЕРИТ-ДІАБАЗОВОЇ ФОРМАЦІЇ
НОВОУКРАЇНСЬКОГО ДАЙКОВОГО ПОЛЯ
(ІНГУЛЬСЬКИЙ МЕГАБЛОК УКРАЇНСЬКОГО ШИТА)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В. М. Гулієм)*

Автори дослідили гірські породи Новоукраїнського дайкового поля (НДП), які раніше були ідентифіковані ними як гіпабісальні представники палеопротерозойської долерит-діабазової формації (ДДФ) – палеоаналога континентальних платобазальтів фанерозою. Укорінення дайок ДДФ відбувалося в часовому проміжку між формуванням гранітоїдів новоукраїнського комплексу (2,03–2,04 млрд р.) та інтрузіями анортозит-рапаківігранітної асоціації Корсунь-Новомиргородського плутону (1,74–1,76 млрд р.). З'ясовано, що, крім звичайних для ДДФ кайнотипних олівінових долеритів і габро-долеритів, серед досліджуваних дайкових порід трапляються й їхні палеотипні аналоги – діабазу та габро-діабазу, які різною мірою зазнали низькотемпературних постмагматичних змін. Такі зміни мають локальний навколотріщинний характер і відбувалися за умов сталого об'єму, що забезпечило добре збереження реліктових структур на тлі широкого розвитку псевдоморфоз по первинно-магматичним мінералам. Первинні плагіоклази, а також мафічні та Fe-Ti-оксидно-рудні мінерали виявляють різний ступінь стійкості до постмагматичних перетворень. Найбільш стійким виявився ільменіт, що наочно підтверджує хімічну інертність титану та неможливість його промислового нагромадження за постмагматичних змін такого типу. Інші породотвірні мінерали за зменшенням ступеня стійкості формують такий ряд: плагіоклаз – клінопіроксен – титаномagnetит – олівін. Найхарактерніші постмагматичні перетворення – актинолітизація мафічних мінералів, а також серицитизація та пренітизація плагіоклазів обумовлені низькотемпературними гідротермально-метасоматичними процесами. Metasomatosis супроводжувався помітним привнесенням водного флюїду та винесенням Si на тлі інертної поведінки Na та K, що не дає підстав пов'язувати вивчені постмагматичні перетворення з розвиненими в регіоні проявами лужно-натрієвого метасоматозу.

Ключові слова: постмагматичні зміни, метасоматоз, дайкові породи, Інгульський мегаблок, Український щит.

Постановка проблеми. Серед дайкових утворень Інгульського мегаблока (ІМБ) Українського щита (УЩ) широко розповсюджені кайнотипні олівінові долерити та габро-долерити нормального ряду лужності. За умовами залягання, мінералого-петрографічними та геохімічними ознаками вони ідентифікуються як гіпабісальні представники палеопротерозойської долерит-діабазової формації (ДДФ), що є палеоаналогом континентальної плато-базальтової (трапової) асоціації фанерозою. Вік укорінення ДДФ ІМБ визначається за непрямыми геологічними даними. Зокрема, дайки ДДФ інтродують Новоукраїнський плутон (НУП – 2,03–2,04 млрд р.), що визначає нижню вікову межу їхнього вкорінення. Верхня вікова межа визначається за відсутністю дайок ДДФ у розташованому поруч з НУП Корсунь-Новомиргородському плутоні (КНП – 1,74–1,76 млрд р.). Вікові співвідношення ДДФ з лужними натрієвими метасоматитами ($1,80 \pm 0,03$ млрд р.), широко розповсюдженими на площі НУП, досі є предметом дискусій. Зважаючи на виявлену в таких метасоматитах U, Th, TR, Sc, V мінералізацію, з'ясування геологічних співвідношень між дайками ДДФ і метасоматитами може мати не лише наукове, а й прикладне значення.

Аналіз попередніх досліджень. Незважаючи на те, що дайкові породи ІМБ досліджуються вже більше ста років [8], постмагматичним змінам у них приділялося недостатньо уваги. Головною причиною цього є звичайна

для дайкових порід мікрокристалічна будова, що значно ускладнює дослідження під поляризаційним мікроскопом. Причому саме для вторинних мінералів властивий найбільш дрібний розмір мінеральних індивідів, часто зібраних у складні мікрокристалічні та полімінеральні агрегати. Не дивно, що за винятком поодиноких сучасних робіт, присвячених речовинному перетворенню діабазових дайок в ореолі апогранітних лужних натрієвих метасоматитів Апрельської ділянки НУП [4, 6], більшість авторів обмежується доволі стислими даними про постмагматичні зміни дайкових порід ІМБ. Що стосується ДДФ, то її представників серед дайкових утворень ІМБ було виділено лише нещодавно [2]. Тому наразі з достатньою деталісттю вивчені лише кайнотипні відміни олівінових долеритів і габро-долеритів цього формаційного типу [3]. Дана робота певною мірою компенсує цей недолік.

Досліджуючи геологічні, мінералого-петрографічні та геохімічні особливості постмагматичних змін у дайкових породах ДДФ, автори ставили метою виявити можливий зв'язок таких змін з проявами лужного натрієвого метасоматозу, які є широко розвиненими на площі НУП.

Фактичний матеріал і методологія досліджень. Автори дослідили дайкові породи Новоукраїнського дайкового поля (НДП), які раніше були ідентифіковані ними як гіпабісальні представники ДДФ. НДП становить північно-західну частину Бобринецького дайкового поясу.

Останній розташований в південній частині ІМБ і простягається в північно-західному напрямку на відстань більше 100 км уздовж лінії населених пунктів Новий Буг – Бобринець – Новоукраїнка – Глодоси, розташованих на території Миколаївської та Кіровоградської областей України. Зразки для досліджень були відібрані зі скороченого керна свердловин, пробурених КП "Кіровгеологія" на площі НДП у районі населених пунктів Новоукраїнка, Кам'яний міст, Сотницька Балка та Тарасівка Кіровоградської області. Мікроскопічні дослідження виконано в ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка та в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України (ІГМР). Для попереднього вивчення прозорих і прозоро-полірованих шліфів у прохідному та відбитому світлі використано поляризаційні мікроскопи "Полам РП-1" та "Nikon eclipse LV100Pol" з приставками для мінерографічних досліджень. Подальшу уточнювальну діагностику мікрокристалічних агрегатів вторинних мінералів, визначення рудної та акцесорної мінералізації, а також вивчення хімізму породотвірних мінералів виконано в

лабораторії ННІ "Інститут геології" на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЕММА-202 з енергодисперсійним рентгенівським спектрометром "Link systems". Валовий хімічний склад порід визначався методами "мокрої" хімії в лабораторії ІГМР.

Отримані результати. Виконані дослідження продемонстрували доволі значне поширення дайкових порід ДДФ на площі НДП. За інтенсивністю розвитку постмагматичних змін серед них розрізняються як кайнотипні, так і палеотипні різновиди. Зокрема, практично незмінні кайнотипні долерити та габбро-долерити виявлені в кернах свердловин 6197, 6201, 6183, 6184, 6186, 6188, 6193. Найбільш розповсюдженими серед них є олівінові габбро-долерити. Це масивні повнокристалічні породи із середньозернистою офітовою структурою, що на окремих ділянках керна переходить у крупнозернисту. Їхніми головними первинно-магматичними мінералами є плагіоклаз $An_{32-75} - 41-68\%$, клінопіроксен $Wo_{6-42}En_{26-57} - 10-19\%$ та олівін $Fo_{24-79} - 7-14\%$. Звичайні другорядні мінерали досліджуваних габбро-долеритів – ільменіт $Ilm_{84-94}Hem_{13-14}Ru_{1-3}$ і титаномagnetит $Mt_{50-70}Usp_{20-50}$, сумарний вміст яких становить 3–8 % (табл. 1).

Таблиця 1. Мінеральний склад дайкових порід НДП

Породи	Кайнотипні габро-долерити			Палеотипні габро-діабази		
Свердловини	6184	6186	6193	74Ф	5814	6184
Глибина, м	175–179	46–59	220–249	550,5	366–379	179–187
Площа шліфа, мм ²	380	376	487	498	429	370
Вміст, об'ємні %						
Плагіоклаз	67,6	60,5	57,5	42,9	44,8	64,1
Піроксен	9,5	18,1	15,0	17,0	–	7,8
Олівін	7,4	12,3	13,1	–	–	–
Fe-Ti оксиди	3,4	2,8	2,9	3,5	7,0	5,4
Гранофір	2,4	1,7	<0,1	–	0,8	1,0
Вторинні мінерали	9,7	4,6	10,9	36,6	47,4	21,7

Характерними акцесорними мінералами є апатит, циркон і бадделейт. Практично завжди в габро-долеритах присутні кварц-калішпатові гранофірові агрегати, вміст яких може становити 1–7 %. Як правило, вони локалізуються в інтерстиціях плагіоклазів та обумовлюють розкиснення останніх у суміжній з гранофіром периферійній частині аж до олігоклазу і навіть альбіту. Спорадично в габро-долеритах трапляється реакційний біотит. По первинно-магматичних мінералах у незначних кількостях можуть розвиватися вторинні променисті амфіболи, гід-

рослюди, хлорит, тальк, магнетит, кальцит, барит та анкерит. Напевно, вторинне походження мають і деякі з рудних мінералів – піротин, пірит, халькопірит і сфалерит, які зустрічаються в акцесорних кількостях. Представницькі хімічні аналізи кайнотипних олівінових габро-долеритів НДП наведено в табл. 2. Вміст SiO_2 в них варіює в діапазоні 48–49 %. Це основні породи нормального ряду лужності із сумарним вмістом $Na_2O + K_2O$ 3,1–3,4 %. Відношення $Al_2O_3/FeO^* + MgO$ (0,75–0,83), FeO^*/MgO (1,61–2,2) та K_2O/Na_2O (0,19–0,35) в них відповідають помірно-глиноземистим різновидам толейтової серії.

Таблиця 2. Хімічний склад дайкових порід НДП

Породи	Кайнотипні габро-долерити			Палеотипні габро-діабази		
Свердловини	6184	6186	6193	74Ф	5814	6184
Глибина, м	175–179	46–59	220–249	550,5	366–379	179–187
Вміст, вагові %						
SiO_2	48,02	48,93	48,35	46,35	47,44	46,61
TiO_2	1,40	1,46	1,40	1,51	1,69	1,46
Al_2O_3	15,22	15,28	15,51	14,94	15,96	15,28
Fe_2O_3	4,49	1,47	0,57	1,09	4,25	2,45
FeO	8,93	11,37	11,37	11,13	7,78	9,42
MnO	0,15	0,17	0,2	0,20	0,17	0,18
MgO	7,28	5,76	7,36	7,44	6,04	6,56
CaO	9,30	9,39	9,74	11,34	9,07	9,07
Na_2O	2,60	2,50	2,60	2,20	2,69	2,60
K_2O	0,50	0,88	0,5	0,70	0,78	0,56
P_2O_5	0,11	0,12	0,09	0,19	0,12	0,16
SO_3	0,10	0,10	0,08	0,04	0,03	0,08
H_2O	0,39	0,33	0,27	0,23	0,69	0,74
ВГП	1,09	2,08	1,67	2,17	2,85	4,53
Сума	99,58	99,84	99,71	99,53	99,56	99,70

Крім звичайних для ДДФ кайнотипних долеритів та габро-долеритів, серед досліджуваних дайкових порід НДП наявні й їхні палеотипні аналоги – діабази та габро-

діабази, які різною мірою підлягають постмагматичним перетворенням. Зокрема, діабази та габро-діабази виявлені в кернах свердловин 74ф (538,0–554,9 м), 5814 (366–

379 м), 6135 (586–598 м), 6155 (163–186 м), 6179 (119–165 м), 6184 (179–187 м) та 6193 (211–220 м). Найбільш розповсюджені серед палеотипних представників ДДФ НДП габро-діабази. Від своїх кайнотипних аналогів – габро-долеритів – вони відрізняються значним розвитком низькотемпературних вторинних мінералів, які частково або повністю заміщують первинні плагіоклази, піроксени та олівіни (див. табл. 1). При цьому порода практично завжди зберігає реліктову офітову структуру (рис. 1), що, разом зі звичайним розвитком псевдоморфоз по первинно-магматичних мінералах може свідчити про сталість об'єму в процесі постмагматичних перетворень. Важливо відмітити, що у двох дайкових тілах, розкритих свердловинами 6184 та 6193, кайнотипні й палеотипні представники ДДФ залягають практично поруч і, вочевидь, поступово переходять один в одного, що наочно доводить локальність прояву постмагматичних змін. Найбільш вірогідним є зв'язок таких змін з тектонічно ослабленими зонами підвищеної тріщинуватості, що контролюються розривними порушеннями. Досліджуючи зразки з різним ступенем змінення, можна з'ясувати загальну спрямованість і послідовність постмагматичних перетворень.

Найменш стійким первинним мінералом виявляється олівін, який навіть у кайнотипних габро-долеритах по тріщинах та у периферійній частині зерен починає заміщуватися магнетит-тальковим агрегатом. У найменш змінених зразках габро-діабазів маємо повні псевдоморфози по

олівіну, які складені тальк-магнетитовим агрегатом (див. рис. 1). У подальшому по таких псевдоморфозах розвивається актиноліт. Спочатку окремі голочки актиноліту тяжіють до меж апоолівінових псевдоморфоз з клінопіроксеном, по якому також розпочинається актинолітизація. Надалі ж апоолівінові псевдоморфози повністю заміщуються сплутано-волокнистим агрегатом актиноліту. Тальк з магнетитом при цьому зникають, натомість звичайною стає мікроскопічна вкрапленість піриту, що насичує актинолітовий агрегат. Місцями до піриту долучаються халькопірит і пентландит. Уздовж межі апоолівінових псевдоморфоз з плагіоклазом, крім актиноліту, звичайно розвиваються Fe-Mg гідрослюда, яка надалі заміщується хлоритом.

Наступним за ступенем стійкості до постмагматичних змін є титаномagnetит. Але, на відміну від олівіну, його заміщення відбувається більш вибірково. Псевдоморфному заміщенню мікрористалічним агрегатом сфену, Fe-Mg гідрослюд і хлориту підлягає лише титаномagnetитова матриця. Орієнтовані ж ламелі ільменіту, які звичайно включені до титаномagnetитової матриці, лишаються незмінними, що дозволяє впевнено ідентифікувати псевдоморфози по титаномagnetиту навіть у найбільш змінених габро-діабазях. Крім ільменіту, у складі апомагнетитових псевдоморфоз таку ж надзвичайну стійкість виявляють і самостійні зерна ільменіту, які лише подекуди можуть бути зачеплені слабкою лейкоксенизацією.

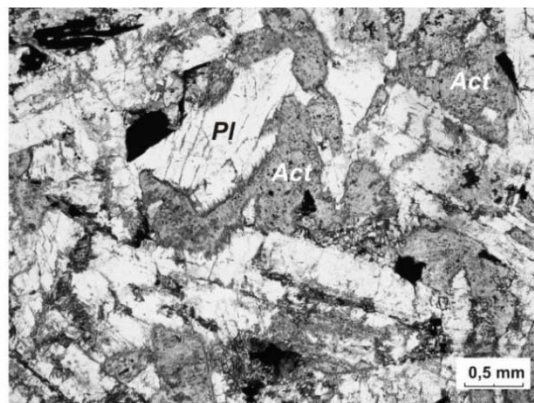
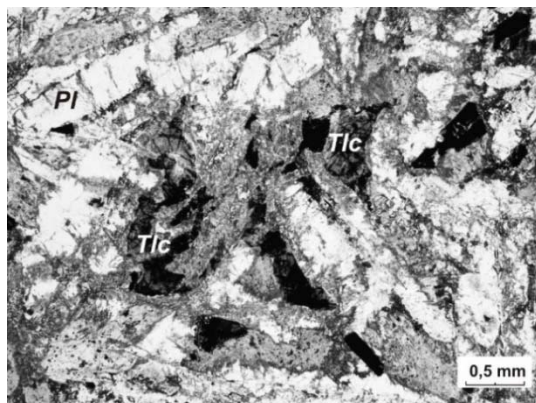


Рис. 1. Постмагматичні зміни в габро-діабазі із свердловини 5814 (гл.366–379 м).

Фото шліфа під поляризаційним мікроскопом у прохідному світлі при вимкненому аналізаторі. Умовні позначення:

Pl – плагіоклаз, Tlc – магнетит-талькові псевдоморфози по олівіну, Act – актинолітові псевдоморфози по клінопіроксену

Клінопіроксен є більш стійким до постмагматичних змін порівняно з олівіном і титаномagnetитом. Його реліктові зерна зникають лише в найбільш змінених зразках габро-діабазів. Звичайно піроксен псевдоморфно заміщується сплутано-волокнистим агрегатом амфіболів, серед яких домінує актиноліт (див. рис. 1). Таке заміщення розпочинається по периферії й поступово захоплює все зерно. Новоутворені псевдоморфози, як правило, зберігають характерну для офітової структури "інтерстиційну" форму первинного піроксену. На межі з плагіоклазом звичайним є також розвиток мікролускуватих скупчень Fe-Mg гідрослюд, які надалі заміщуються хлоритом.

Ще більш стійким до постмагматичних змін виявився плагіоклаз. Реліктові зерна первинно-магматичного лабрадору і навіть бітовніту можна спостерігати в габро-діабазях з повністю амфіболізованими мафічними мінералами, хоч початкову серицитизацію плагіоклазу можна побачити в слабо змінених габро-долеритах. Більш інтенсивна серицитизація звичайно супроводжується розкисненням плагіоклазу та виокремленням мікрористалічних агрегатів кліноцоїзиту та преніту.

У св. 74Ф помірно-змінений габро-діабаз перетинається кількома тонкими (3–10 мм) світло-сірими прожилками альбітитового складу, що макроскопічно мають різкі лінійні межі відносно більш темної вмісної породи. Детальне мікроскопічне вивчення одного із прожилків виявило його зональну будову. Осьова частина альбітитового прожилка, яка, імовірно, має гідротермальне походження, складена агрегатом альбіту, преніту, апофіліту та кліноцоїзиту. Вона має дрібнокристалічну структуру, характеризуючись відсутністю первинних особливостей будови та реліктових мінералів вмісного габро-діабазу. Периферійні метасоматичні частини альбітитового прожилка, які більш ніж на 80 % складені дрібнокристалічним альбітом, навпаки, зберігають ледь помітну "тіньову" структуру вихідного габро-діабазу та його найбільш стійкий реліктовий мінерал – ільменіт. Первинні ж мафічні мінерали тут повністю заміщені актинолітом. Крім того, за допомогою мікрозондового аналізатора тут були діагностовані мікроскопічні кристали сфену, ортиту, сфалериту, халькопіриту, галеніту, а також наразі нерозпізнаних кальцій-цирконій-кременистих та уран-свинцев-торієвих мінералів. Як осьова, так і периферійні частини

альбітитового прожилка перетинаються ще тоншими жилками, виповненими кальцитом. По обидва боки від альбітитового прожилка вмісний габро-діабаз демонструє поступову зональну зміну новоутворених мінеральних парагенезисів, яку можна простежити за допомогою поляризаційного та електронного мікроскопів при віддаленні на 2–3 см від прожилка. Так, найбільш віддалена від прожилка ділянка габро-діабазу зберігає реліктовий плагіоклаз, клінопіроксен, ільменіт і титаномagnetит, і лише олівін повністю заміщений актиноліт-талковими псевдоморфозами. При наближенні до прожилка відбувається поступове збільшення ступеня серицитизації плагіоклазу та актинолітизації мафічних мінералів. У безпосередній близькості з альбітитовим прожилком серицитизований плагіоклаз із габро-діабазу спершу заміщується калішпатом, а потім альбітом. Дуже вузька зона габро-діабазу, що безпосередньо контактує з альбітитовим прожилком, характеризується майже повним заміщенням апопіроксенових актинолітових псевдоморфоз хлоритом. При цьому надлишок кальцію вивільняється у формі епідоту. Зазначимо, що дайка, яка розкрита св. 74Ф, знаходиться на площі Апрельського родовища урану, ореоли лужних натрієвих метасоматитів якого локалізуються недалеко від досліджуваного перетину габро-діабазу. Інші прояви аподіабазових лужних натрієвих метасоматитів, які описані в роботах [4, 6], також виявлені на Апрельському родовищі. На думку І. І. Михальченко, апогабро-діабазовий альбітит із свердловини 74Ф за особливостями будови, а також за мінеральним складом тилової й проміжної зон різко відрізняється від постмагматичних змін у дайкових породах ДДФ, описаних вище, і ототожнюватися з ними не може. Натомість, за парагенезом головних мінералів цей альбітит відповідає мінеральній асоціації тилової зони апобазитової актинолітової фації геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів [4].

Хімічний склад дайкових порід НДП подано в табл. 2. В аналізах палеотипних габро-діабазів відразу привертають увагу доволі високі втрати при прожарюванні ВПП

– 2,17–4,53 %. З огляду на відсутність карбонатів у шліфах проаналізованих габро-діабазів ВПП цілком можна ототожнювати з H_2O^+ . Оскільки, вміст останньої в магматичних породах звичайно корелюється із вмістом гідроксилвмісних вторинних мінералів – слюд, хлоритів, смектитів, серпентину, тальку, преніту та ін., то ВПП може виступати мірилом ступеня низькотемпературних постмагматичних перетворень. Таким чином, найбільше постмагматичне змінення слід очікувати для зразка габро-діабазу із св. 6184 (гл. 179–187 м), найменше – для зразка габро-діабазу 74Ф-550,0. Слід відмітити, що високі ВПП позначилися на дещо меншому вмісті SiO_2 в габро-діабазі порівняно з габро-долеритами. Тому на класифікаційній діаграмі $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$, запропонованій авторами відомої монографії [6], досліджувані габро-діабаз формально потрапляють у поле "сублужної серії". Тим не менше, перерахунок аналізів на "сухий залишок" дозволяє виправити цю недоречність і віднести габро-діабазу НДП до толейтової серії, виявивши їхню первинну петрохімічну спорідненість з габро-долеритами ДДФ. Відношеннями $Al_2O_3/FeO^* + MgO$ (0,76–0,90), FeO^*/MgO (1,63–1,92) та K_2O/Na_2O (0,22–0,32) у габро-діабазі коливаються в тих же межах, що й у описаних вище габро-долеритах НДП.

Щоб оцінити вплив постмагматичних процесів на "рухомість" окремих петрогенних елементів, автори скористалися "кисневим методом", запропонованим Т. Бартом [7]. Розрахунки стандартних комірок були виконані для трьох проаналізованих зразків дайкових порід із св. 6184, що характеризувалися мінімальним, проміжним і максимальним значеннями ВПП і, відповідно, прогресуючим ступенем постмагматичних змін (табл. 3). Коментуючи результати розрахунку, можна зробити такі висновки: 1) постмагматичні зміни в досліджуваних дайкових породах ДДФ НДП відбувалися за умов помітного привнесення водного флюїду та винесення Si; 2) імовірно є також незначне винесення Fe, Mg, Ca; 3) решта головних петрогенних елементів, включаючи принципово важливі для процесів лужного метасоматозу Na і K, лишалися інертними при досліджуваних постмагматичних перетвореннях.

Таблиця 3. Розрахунок стандартних комірок дайкових порід НДП та оцінка рухомості петрогенних елементів при постмагматичних змінах

Зразок	1	2	3	Рухомість елементів:	
Розрахунок	Кількість катіонів на 1600 атомів кисню			різниця 2–1	різниця 3–1
Si	455	427	401	–28	–54
Ti	10	10	9	0	–1
Al	170	156	155	–14	–15
Fe	103	91	84	–12	–19
Mn	1	1	1	0	0
Mg	103	100	84	–3	–19
Ca	94	89	84	–5	–11
Na	48	45	43	–3	–4
K	6	5	6	–1	0
P	1	1	1	0	0
ОН	69	173	260	104	191

Примітка. Розрахунок виконано за "кисневим методом" Т. Барта відповідно до рекомендацій [7]. Для розрахунку використано хімічні аналізи трьох зразків дайкових порід з різним ступенем постмагматичних змін, відібраних із св. 6184: 1 – кайнотипний габро-долерит, глибина 175–179 м; 2 – помірно-змінений габро-долерит, глибина 171–179 м; 3 – істотно змінений габро-діабаз, глибина 179–187 м.

Обговорення результатів і висновки. Підсумовуючи результати виконаних досліджень, можна зробити такі висновки. Дайкові породи долерит-діабазової формації НДП можуть локально підлягати низькотемпературним постмагматичним змінам. Такі зміни відбувалися за умов збереження сталого об'єму, що забезпечило добре збереження реліктових структур на тлі розвитку псевдоморфоз по первинно-магматичних мінералах. Останні

виявляють різний ступінь стійкості до постмагматичних перетворень. Найбільш стійким мінералом є ільменіт. Це в черговий раз підтверджує хімічну інертність титану та неможливість його проміслового накопичення при постмагматичних змінах такого типу. Інші породотвірні мінерали за зменшенням ступеня стійкості формують такий ряд: плагіоклаз – клінопіроксен – титаномagnetит – олівін. Найбільш характерні постмагматичні перетворення

– актинолітизація мафічних мінералів, а також серицитизація та пренітизація плагіоклазів обумовлені низькотемпературними гідротермально-метасоматичними процесами. Метасоматоз відбувався за умов помітного привнесення водного флюїду та винесення Si на тлі інертної поведінки Na та K, що не дає підстав пов'язувати такі перетворення з розвиненими в регіоні проявами лужно-натрієвого метасоматозу. Зональні ж альбітинові прожилки, а також приурочені до них метасоматичні зміни, які виявлено в габро-діабазах Апелівської ділянки, потребують додаткового вивчення. Доцільним було б, зокрема, порівняти їх з так званими "діафоритами", ореоли яких описані [1] у просторовій асоціації з ураноносними лужними натрієвими метасоматитами центральної частини УЩ.

Список використаних джерел

1. Иванов Б. Н. Минералогическая характеристика и особенности пространственного распространения диафоритовых пород центральной части Украинского щита / Б. Н. Иванов, И. И. Михальченко // *Мінеральні ресурси України*. – 2015. – № 3. – С. 39–44.
2. Митрохин О. Мінералогіко-петрографічні особливості долеритів Розанівського дайкового поля (південна частина Інгальського мегаблоку Українського щита) / О. Митрохин, Є. Вишневіська // *Вісн. Київ. ун-ту. Геологія*. – 2014. – № 1(64). – С. 18–21.
3. Митрохин А. В. Петрография, геохимия и формационная принадлежность долеритов Бобринецкого дайкового пояса (Ингульский мегаблок Украинского щита) / А. В. Митрохин, Л. В. Шумлянский, Е. А. Вишневицкая // *Мінерал. журн. Петрологія*. – 2015. – Т. 37, № 1. – С. 56–68.
4. Михальченко І. І. Актинолітова фация апобазитових лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів / І. І. Михальченко, В. О. Синицин // *Геохім. та рудоутвор.* – 2012. – Вип. 31–32. – С. 77–87.

5. Магматические горные породы. Т. 6: Эволюция магматизма в истории Земли. / под ред. О. А. Богатикова. – М.: Наука, 1987. – 348 с.
6. Речовинне перетворення дайок діабазу в ореолі апогранітних лужних натрієвих метасоматитів / Б. Н. Иванов, І. І. Михальченко, В. О. Синицин, В. В. Загородній // *Доп. НАН України*. – 2013. – № 9. – С. 122–128.
7. Четвериков С. Д. Руководство к петрохимическим пересчетам. / С. Д. Четвериков. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – 246 с.
8. Щербак І. Б. Петрологія Українського щита / І. Б. Щербак. – Л.: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.

References

1. Ivanov, B. N., Mihalchenko, I. I. (2015). Mineral-geochemical description and spatial distribution of weakly altered rocks in central part of the Ukrainian Shield. *Mineral Resources of Ukraine*, 3, 39–44. [in Russian].
2. Mitrokhin, O., Vishnevskaya, E. (2014). Mineralogical and petrographical peculiarities of Rozanovka dyke field dolerites (Ingul Megablock of the Ukrainian Shield). *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(64), 18–21. [in Ukrainian].
3. Mitrokhin, A. V., Shumlyanskyy, L. V., Vishnevskaya, E. A. (2015). Petrography, geochemistry and magmatic association of dolerites of the Bobrynets Belt (Ingul Megablock of the Ukrainian Shield). *Mineralogical journal*, 37(1), 56–68. [in Russian].
4. Mihalchenko, I. I., Sinitsyn, V. O. (2012). Actinolitic facies of apobasitic alkaline sodium metasomatites of deep fault zones. *Geokhimiya ta rudoutvorennia*, 31–32, 77–87. [in Ukrainian].
5. Bogatikov, O. A. (Ed.) (1987). Igneous rocks. V. 6. Jevoľucija magmatizma v istorii zemli. M.: Nauka, 348 p. [in Russian].
6. Ivanov, B. N., Mihalchenko, I. I., Sinitsyn, V. O., Zagorodnyy, V. V. (2013). Mineral and chemical transformations of diabase dykes within the halo of apogranitic alkaline sodium metasomatites. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 9, 122–128. [in Ukrainian].
7. Chetverikov, S. D. (1956). Manual of petrochemical recalculation. M.: Gosgeoltekhizdat, 246 p. [in Russian].
8. Sherbakov, I. B. (2005). Petrology of Ukrainian Shield. Lviv, 366 p. [in Russian].

Надійшла до редколегії 19.07.17

A. Mitrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua,
A. Omelchenko, Cand. Sci. (Geol), Engineer
E-mail: alnika@ukr.net,
T. Mytrokhyna, Cand. Sci. (Geol), Junior researcher fellow
E-mail: tanussa@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,
V. Gatsenko, Cand. Sci. (Geol), Postdoctoral Student, Tenured researcher fellow
E-mail: vera.gatsenko@ukr.net
Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NAS of Ukraine
34 Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine,
E. Vishnevskaya, Cand. Sci. (Geol), Leading Geologist
E-mail: genyishnevskia@mail.ru
State Enterprise "Kirovgeologiya"
8/9 Kikvidze Str., Kyiv, 01103, Ukraine,
I. Mihalchenko, Cand. Sci. (Geol), Senior researcher fellow
E-mail: alcoldan@i.ua
Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine
34a Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

POSTMAGMATIC ALTERATION IN THE DOLERITE-DIABASE ROCKS ASSOCIATION OF THE NOVOUKRAINKA DYKE FIELD (INGUL TERRAIN OF THE UKRAINIAN SHIELD)

The authors have studied some rocks of the Novoukrainka dike field (NDP). The dike rocks were previously identified by them as hypabyssal representatives of Paleoproterozoic dolerite-diabase association (DDA) that is paleoanalogue of continental plateau basalts of the Phanerozoic. The intrusion of the DDA dikes occurred in the time interval between the formation of the Novoukrainka granite complex (2,03-2,04 Ga) and intrusions of anorthosite-rapakivi-granite association of Korsun-Novomirgorod Pluton (1,74-1,76 Ga). It was established that, among the studied dyke rocks besides the usual for DDA cenotypal olivine dolerites and gabbro-dolerites there are their palaeotype counterparts such as diabases and gabbro-diabases. The latter are in varying degrees susceptible to low-temperature postmagmatic alteration. Such changes have a local near fracture nature and occurred at constant volume, ensuring a good preservation of relict structures with broad development of pseudomorphs on the primary igneous minerals. Primary plagioclase, mafic and Fe-Ti-oxide ore minerals exhibit different degrees of resistance to post-magmatic transformations. The ilmenite appears to be most stable that obviously confirms the chemical inertness of titanium and the impossibility of its industrial accumulation during post-magmatic processes of this type. Other rock-forming minerals on the reduction of the degrees of resistance form the following sequence: plagioclase – clinopyroxene – Ti-magnetite – olivine. The most characteristic post-magmatic transformations such as actinolization of mafic minerals, sericitization and prehnitization of plagioclase were caused due to low-temperature hydrothermal–metasomatic processes. The metasomatism occurred with a noticeable addition of an aqueous fluid and with the removal of Si. At the same time Na and K reveal inert behaviour. These cast doubt on the supposed genetic relationship of the studied post-magmatic changes with the manifestations of the alkali-sodium metasomatism that developed in the region.

Keywords: post-magmatic changes, metasomatism, dike rocks, Ingul Megablock, Ukrainian Shield.

А. Митрохин, д-р геол. наук, проф.

E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua,

А. Омельченко, канд. геол. наук, инж.

E-mail: alnika@ukr.net,

Т. Митрохина, канд. геол. наук, мол. науч. сотруд.

E-mail: tanussa@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

В. Гаценко, канд. геол. наук, докторант, ст. науч. сотруд.

E-mail: vera.gatsenko@ukr.net

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

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

Е. Вишневская, канд. геол. наук, вед. геолог

E-mail: genyuvishnevskia@mail.ru

КП "Кировгеология", ул. Киквидзе, 8/9, г. Киев, 01103, Украина,

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

E-mail: alcoldan@i.ua

Институт геохимии окружающей среды НАН Украины

Пр. Акад. Палладина, 34, а, г. Киев, 03680, Украина

ПОСТМАГМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОРОДАХ ДОЛЕРИТ-ДИАБАЗОВОЙ ФОРМАЦИИ НОВОУКРАИНСКОГО ДАЙКОВОГО ПОЛЯ (ИНГУЛЬСКИЙ МЕГАБЛОК УКРАИНСКОГО ЩИТА)

Авторы изучили горные породы Новоукраинского дайкового поля (НДП), которые ранее были идентифицированы ими как гипабиссальные представители палеопротерозойской долерит-диабазовой формации (ДДФ) – палеоаналога континентальных плато-базальтов фанерозоя. Внедрение даек ДДФ происходило во временном интервале между формированием гранитоидов новоукраинского комплекса (2,03–2,04 млрд лет) и интрузиями анортозит-рапакивигранитной ассоциации Корсунь-Новомиргородского плутона (1,74–1,76 млрд лет). Установлено, что, кроме обычных для ДДФ кайнотипных оливиновых долеритов и габбро-долеритов, среди изученных дайковых пород встречаются и их палеотипные аналоги – диабазы и габбро-диабазы, которые в разной мере подвержены низкотемпературным постмагматическим изменениям. Такие изменения имеют локальный околотрещинный характер и происходили в условиях постоянства объема, что обеспечило хорошую сохранность реликтовых структур на фоне широкого развития псевдоморфоз по первично-магматическим минералам. Первичные плагиоклазы, а также мафические и Fe-Ti окисдно-рудные минералы проявляют разную степень устойчивости к постмагматическим преобразованиям. Наиболее устойчивым оказался ильменит, что, очевидно, подтверждает химическую инертность титана и невозможность его промышленного накопления при постмагматических процессах такого типа. Остальные породообразующие минералы по уменьшению степени стойкости формируют такой ряд: плагиоклаз – клинопироксен – титаномagnetит – оливин. Наиболее характерные постмагматические преобразования – актинолитизация мафических минералов, а также серицитизация и преницитизация плагиоклазов обусловлены низкотемпературными гидротермально-метасоматическими процессами. Metасоматоз сопровождался заметным привнесением водного флюида и выносом Si при инертном поведении Na и K, что не даёт оснований связывать изученные постмагматические изменения с развитыми в регионе проявлениями щелочного натриевого метасоматоза.

Ключевые слова: постмагматические изменения, метасоматоз, дайковые породы, Ингульский мегаблок, Украинский щит.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.347.097

О. Кендзера, канд. фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАН України,
заст. директора
E-mail: kenzera@igph.kiev.ua,
Ю. Семенова, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.
E-mail: ulaska@ukr.net
Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України
Пр. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна

ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТОВОЇ ТОВЩІ

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

Розглянуто методику визначення деформаційних характеристик шарів розрахункових моделей ґрунтової товщі для еквівалентного лінійного і нелінійного моделювання її реакції на сейсмічні впливи. Продано результати збирання, аналізу і систематизації одержаних в Японії та США результатів лабораторних і польових досліджень деформаційних характеристик ґрунтів. На цій основі створено базу залежностей від величини зсувної деформації γ модуля зсуву G і коефіцієнта поглинання D для різних типів ґрунтів, характерних для будівельних майданчиків на території України. Проаналізовано результати дослідження факторів, які впливають на залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$. За результатами аналізу виділено основні параметри, які контролюють форму графіків зазначених залежностей і дозволяють швидко з допустимою точністю підібрати для кожного шару моделі ґрунтової товщі відповідні залежності із сформованої бази даних. Для глинистих порід: це індекс пластичності PL і глибина залягання; для піщаних порід: розмір частинок, їхній відсотковий вміст і глибина залягання. Представлено результати дослідження впливу епістемічних похибок, які виникають при виборі залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ для ґрунтових шарів розрахункової сейсмогеологічної моделі, на параметри амплітудно-частотної характеристики ґрунту, розрахованої з використанням еквівалентного лінійного моделювання коливань ґрунту при землетрусах. Розрахунки виконано з використанням програмного продукту PROSHAKE. Установлено, що похибки при визначенні деформаційних характеристик шарів ґрунту в розрахунковій моделі призводять до зміщення максимумів амплітудно-частотної характеристики (A_{CH}), до зміни коефіцієнтів підсилення коливань, а також до появи "хибних" максимумів на високих частотах.

Створена авторами база даних $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ для різних типів ґрунтів, характерних для майданчиків на території України, дозволяє застосовувати методи моделювання реакції ґрунтової товщі на сейсмічні впливи з урахуванням нелінійної поведінки ґрунтів. Розроблена методика формування розрахункових сейсмогеологічних моделей ґрунтової товщі шляхом введення залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, які відображають нелінійні властивості ґрунту, дозволяє (на рівні сучасних знань) максимально наблизити обчислювані частотні характеристики ґрунтової товщі до реальних. У результаті підвищується обґрунтованість і точність визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки на досліджуваних будівельних і експлуатаційних майданчиках, що є необхідним для розробки ефективних заходів із забезпечення сейсмостійкості проєктованих і наявних об'єктів.

Ключові слова: ґрунти, моделі ґрунтів, моделювання сейсмічних коливань, пружні і непружні характеристики ґрунту, епістемічні й випадкові похибки, сейсмічні впливи.

Вступ. Механізм поведінки ґрунту при землетрусах залежить від багатьох факторів [3, 4, 22]. Дослідження в галузі поведінки ґрунтів при сейсмічних навантаженнях активно розвиваються, чому значною мірою сприяють лабораторні та польові дослідження зміни деформаційних характеристик ґрунтів під впливом динамічних навантажень.

Відомо, що деформаційні характеристики ґрунту при значних навантаженнях є нелінійними [2], оскільки значення модуля зсуву G і коефіцієнт поглинання D змінюються залежно від величини деформації зсуву γ при сейсмічних впливах. При малих деформаціях модуль зсуву вважається максимальним і позначається $G_{\max}$. Він пов'язаний зі швидкістю поперечних хвиль V_s співвідношенням

$$G_{\max} = V_s^2 \rho. \quad (1)$$

При розрахунках реакції ґрунту на сейсмічні впливи з використанням еквівалентного лінійного і нелінійного моделювання за допомогою таких програмних продуктів, як EERA [11], NERA [10], PROSHAKE [28, 32], DEEPSOIL [17] та ін., необхідно мати емпіричні дані залежностей модуля зсуву $G(\gamma)$ і коефіцієнта поглинання $D(\gamma)$ від величини зсувної деформації γ для кожного шару моделі ґрунтової товщі. Ці співвідношення визначаються в результаті польових або лабораторних досліджень зміни деформаційних характеристик ґрунтів під впливом динамічних випробувань ґрунтів. В Україні такі випробування не проводилися, оскільки їхнє проведення вимагають наявності складної, високоточної апаратури. В основному такі дослідження проводяться в Японії та США.

Результати лабораторних і польових досліджень залежностей модуля зсуву $G(\gamma)$ і коефіцієнта поглинання $D(\gamma)$ від величини зсувної деформації γ найповніше ви-

кладено в роботах [20, 29, 33, 34, 41 та ін.]. За результатами досліджень установлено, що із збільшенням амплітуди зсувної деформації модуль зсуву G зменшується, а коефіцієнт поглинання D збільшується. При цьому закон швидкості зміни цих величин для кожного типу ґрунту виявляється різним.

Авторами зібрано фондові і літературні матеріали вивчення залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, одержані різними дослідниками й опубліковані в різних джерелах [12, 15, 29, 33 та ін.]. Матеріали проаналізовано і систематизовано в комп'ютерній базі даних, яка дозволяє для кожного шару розрахункових моделей ґрунту автоматизувати вибір відповідних залежностей модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації. База даних продовжує поповнюватися залежностями, сформованими для окремих шарів і для їхніх пачок, які характеризуються різною літологією, фізико-механічними властивостями, потужністю та глибиною залягання.

Аналіз факторів, що впливають на зменшення модуля зсуву і збільшення коефіцієнта поглинання. У результаті лабораторних випробувань, проведених в 70-х рр. XIX ст., було встановлено перші залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації. Результати були викладені в роботах [16, 34]. Їхні автори показали, що характер залежностей модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації залежить від складу ґрунту, вологості, структурних зв'язків між частинками, глибини залягання шарів тощо.

Сучасні польові та лабораторні методи визначення залежностей модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації детально описані, наприклад, в оглядових роботах С. Крамера [25] і Е. А. Возне-

сенського [1]. Загалом польові й лабораторні методи визначення зазначених характеристик ґрунту відрізняються для малих і великих сейсмічних деформацій.

Вплив коефіцієнта пористості на форму залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації.

При вивченні залежності коефіцієнта поглинання і модуля зсуву від різних факторів впливу дослідники Б. Хардин і В. Дрневич [16] установили, що одним із головних факторів є коефіцієнт пористості. Результати їхніх експериментів на резонансній колонці з ґрунтами не порушеного складу свідчать про зменшення коефіцієнта поглинання зі збільшенням коефіцієнта пористості. Водночас, результати досліджень нормально ущільнених

глин, виконані К. Стокі й В. Айзенхауером у 1981 р. на досконалішій апаратурі, навпаки, не виявили помітної залежності поглинання і модуля зсуву від пористості [19].

У роботах [21, 6; 24] викладено результати детальних досліджень динамічних властивостей ґрунтів залежно від деформації на стандартному японському піску "Тоюґа". Дослідження проводилися в умовах всебічного стиску зразків до 100 кПа. На рис. 1 і рис. 2 наведено результати досліджень на зразках різної пористості. Із рис. 1 видно, що зменшення модуля зсуву під дією деформації практично не залежить від величини коефіцієнта пористості для піщаних порід.

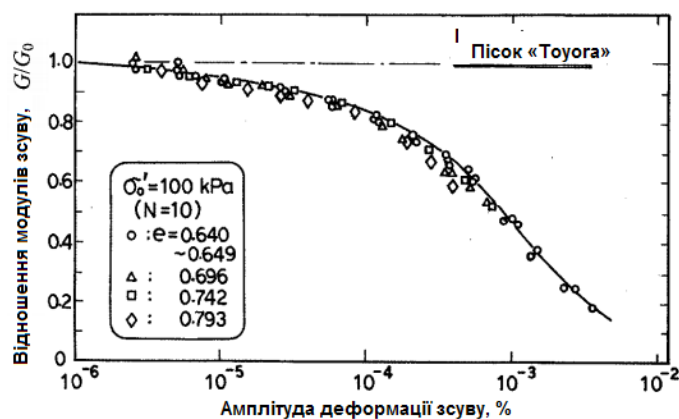


Рис. 1. Залежність нормалізованого модуля зсуву від деформації зсуву для піску "Тоюґа" [24]. Різними значками показано результати для різного за величиною коефіцієнта пористості

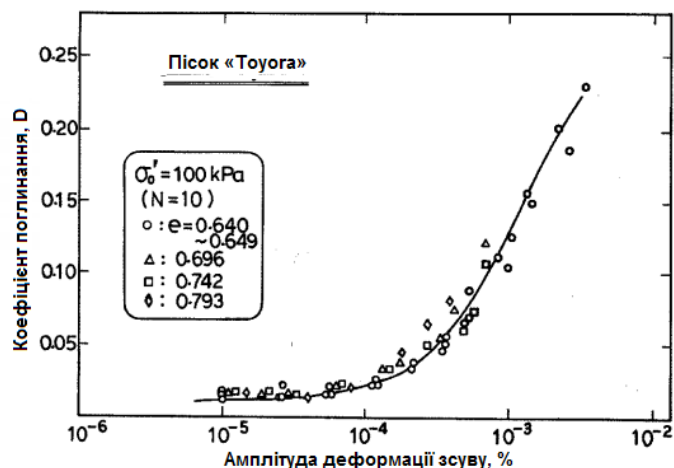


Рис. 2. Залежність коефіцієнта поглинання від деформації зсуву для піску "Тоюґа" [24]

Із рис. 2 видно, що коефіцієнт поглинання D збільшується при зростанні деформації зсуву і досягає $\sim 0,25$ при величині зсувної деформації 0,5 %. Відношення між коефіцієнтом поглинання і деформацією зсуву не залежить від пористості зразка. Аналогічні результати були отримані для незв'язних ґрунтів у дослідях С. Сагасета [30]. У своїй роботі С. Сагасета відзначає, що коефіцієнт поглинання і модуль зсуву дослідженого ним піску, які залежать від зсувної деформації й напруження всебічного стиску, виявилися практично незалежними від коефіцієнта пористості. Водночас, при узагальненні серії польових досліджень іншими дослідниками, наприклад [5], від-

мічається, що у водонасичених піщаних ґрунтах коефіцієнт поглинання лінійно зростає зі збільшенням коефіцієнта пористості.

Вплив кислотності середовища на форму залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації.

Характер впливу кислотності середовища на поглинальні властивості розглянуто в роботі Ю. Ванга і В. Сью [42]. Відзначається, що мінімальне значення коефіцієнта поглинання зменшується зі зменшенням значення pH ґрунту.

Вплив кількості циклів навантаження на форму залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації.

Івасакі [18, 6] і Кокушо [22] вивчили також вплив кількості циклів навантаження на зміну динамічних параметрів піску "Toyoga". Згідно з одержаними результатами досліджень величини модуля зсуву, отримані в ході 2-го та 10-го циклів навантажень, відрізняються не більше ніж на 10 % при деформації зсуву до 10^4 . Приблизно така ж залежність характерна і для коефіцієнта поглинання. Слід відмітити, що при кількості циклів, яка перевищує 10, вплив їхньої кількості стає несуттєвим. Звідси випливає важливий висновок, що практично в усіх випадках розрахунку реакції піщаного ґрунту на сейсмічні впливи

можна нехтувати зміною модуля зсуву і коефіцієнта поглинання внаслідок збільшення кількості циклів навантаження. Виняток становить випадок недренованого піщаного ґрунту при великій деформації зсуву, при якому відбувається значне збільшення тиску порової води [2].

Вплив напруження всебічного стиску від деформації досліджували японські вчені [6, 21, 24, 37]. Зокрема Кокушо [24] узагальнив результати досліджень на трьохосово циклічне стискування (див. рис. 3 і 4). У цих дослідженнях зразки були ущільнені під тиском 20...300 кПа і потім зазнали циклічного осьового навантаження в недренованих умовах.

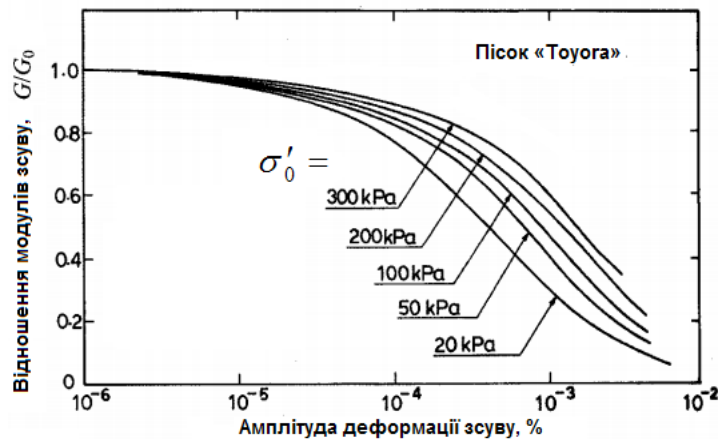


Рис. 3. Вплив величини напруження всебічного стиску на модуль зсуву залежно від деформації за [24]

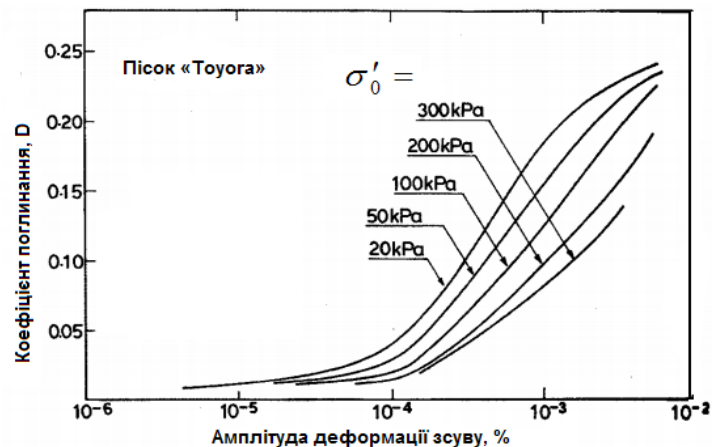


Рис. 4. Вплив величини напруження всебічного стиску на коефіцієнт поглинання залежно від деформації за [24]

Із рис. 3 видно, що швидкість зменшення модуля зсуву зростає разом з деформацією при зменшенні стискових напружень. Таку закономірність можна пояснити, розглянувши залежність напруження всебічного стиску від міцності τ_f і початкового модуля зсуву G_0 .

Теоретичне пояснення зміни форми залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації при зменшенні всебічного стиску.

Нехай міцність піску виражається через критерій руйнування Кулона – Мора:

$$\tau_f = \sigma'_0 \tan \phi, \quad (2)$$

де ϕ – кут внутрішнього тертя.

Формула для розрахунку модуля зсуву при малих деформаціях запишеться як

$$G_0 = 8400 \frac{(2,17 - e)^2}{1 + e} (\sigma'_0)^{0,5} \quad (3)$$

де e – коефіцієнт пористості.

Підставляючи (2) і (3) у рівняння для визначення еталонної деформації $\gamma_r = \tau_f / G_0$, отримаємо для чистих пісків відношення еталонної деформації до напруження всебічного стиску:

$$\gamma_r \sim (\sigma'_0)^{0,5} \quad (4)$$

Із рівняння (4) видно, що еталонна деформація зростає разом з напруженням всебічного стиску. Відповідно, збільшення напруження всебічного стиску призводить

до збільшення модуля зсуву при заданому рівні деформації, що підтверджують результати емпіричних досліджень (див. рис. 3).

Аналізуючи поглинальні характеристики для піску "Тоуога", отримані під час тих же досліджень (див. рис. 4), можна зробити висновки, що коефіцієнт поглинання зростає зі зменшенням напруження всебічного стиску. Цей факт можна розглядати як логічний наслідок, якщо припустити, що коефіцієнт поглинання пов'язаний з відношенням модулів G/G_0 залежністю:

$$D = \frac{2r-1}{\pi r+1} \left(1 - \frac{G}{G_0} \right). \quad (5)$$

Результати досліджень, проілюстровані на рис. 1 і 2, свідчать про наявність залежності між відношенням модулів зсуву G/G_0 , коефіцієнтом поглинання D і величиною деформації зсуву γ , яка береться як робочий параметр.

Вплив дренажу на форму залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації.

Результати наведених вище досліджень описують реакцію піску під дією циклічного навантаження в недренованих умовах. Кокушо [24] проводив також серії трьохосових навантажень зразків за наявності дренажу. Результати цих досліджень показали, що при величинах деформацій від 10^{-6} до 5×10^{-3} дренажування практично не впливає ні на модуль зсуву, ні на характеристики по-

глинання піску "Тоуога". Це цілком логічно, якщо врахувати, що ефект дилатансії починає виявлятися при перевищенні деформацією значень 5×10^{-3} [2].

Дослідження впливу числа пластичності глинистих порід на форму залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації.

Широкомасштабні лабораторні дослідження з виявлення залежності деформаційних характеристик зв'язних ґрунтів від деформації проводилися багатьма дослідниками. Основні результати викладено в роботах [12, 15, 16, 26; 34, 38 та ін.]. Усі вони вказують, що модуль зсуву для глин значно зменшується при перевищенні напруженнями порога пружності.

При проведенні комплексних досліджень на зразках п'яти видів глин з непорушеною структурою Андерсон і Річарт [7] установили, що глини з невеликим числом пластичності (від 20 до 45), відібрані дослідниками в лабораторіях США, характеризувалися величиною недренованої міцності на зсув у діапазоні 70...85 кПа. Тільки в одного зразка глини міцність на зсув становила 15 кПа. На рис. 5 представлено узагальнені результати досліджень з використанням приладу для резонансного випробування колонок ґрунту. Видно, що модуль зсуву починає зменшуватися при перевищенні деформацією значень 5×10^{-5} . Це явище не відповідає поведінці незв'язних ґрунтів, де модуль зсуву починає зменшуватися при перевищенні деформацією значень приблизно 10^{-5} (див. рис. 1 і рис. 2).

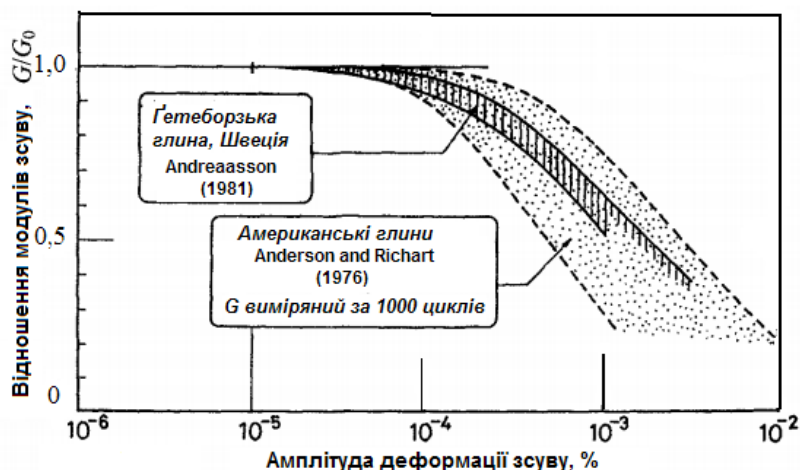


Рис. 5. Криві зменшення модуля зсуву для глин за даними [7, 9]

Андреассон [8, 9] дослідив залежності модуля зсуву від деформації на зразках пластичних глин, відібраних на трьох ділянках у районі Гетеборга (Швеція). Число пластичності глин змінювалося від 20 до 60. Зразки непорушеної структури досліджували в лабораторії з використанням приладу для резонансного випробування колонок ґрунту. На рис. 5 наведено результати польових і лабораторних досліджень зміни величини модуля зсуву для глин за різних рівнів деформації. Видно, що крива зменшення модуля зсуву Гетеборзької глини за формою є подібною до графіка, побудованого Андерсоном і Річартом [7] для американських зразків глин.

У роботах Кім, Новак [23] і Кокушо [25] викладено результати досліджень впливу напруження всебічного стиску на зміну модуля зсуву і коефіцієнта поглинання

в умовах консолідації зразків при зростанні величини зсувної деформації. За результатами циклічних випробувань вказується [25], що зміна напруження всебічного стиску в межах від 45 до 500 кПа практично не впливає на деформування зв'язних ґрунтів непорушеної структури з числом пластичності $35 \div 55$. Вплив напруження всебічного стиску на характер залежності коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації виявився незначним.

У роботах [21, 7] показано, що на зменшення модуля зсуву впливають ефективні напруження всебічного стиску, особливо для ґрунтів з низькою пластичністю: зі збільшенням ефективних напружень всебічного стиску (див. рис. 6) поріг "нелінійної поведінки" виявляється за більших значень зсувної деформації.

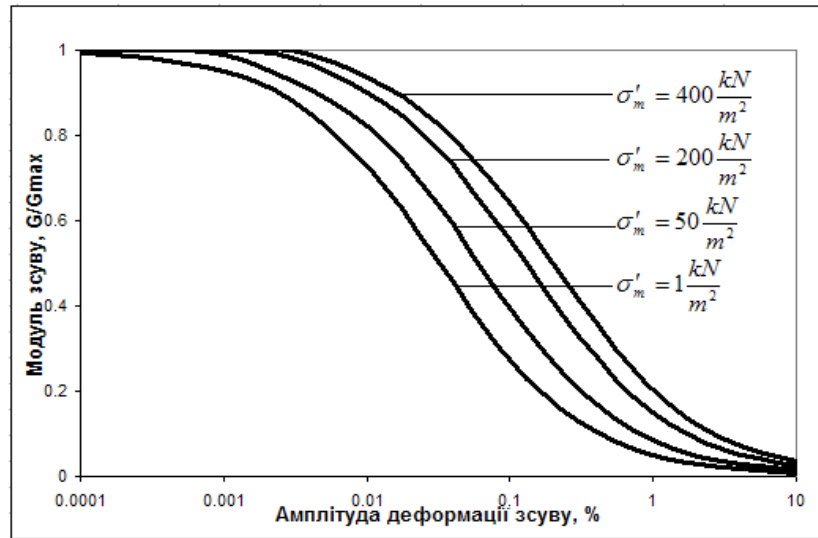


Рис. 6. Залежність модуля зсуву від величини зсувної деформації для ґрунтів при різних ефективних напруженнях усебічного стиску (за [21, 6])

Теоретична залежність ефективних напружень усебічного стиску σ_m та індексу пластичності PL від модуля зсуву G .

У роботі [20] наводиться теоретичний аналіз залежності ефективних напружень усебічного стиску σ_m та індексу пластичності PL від модуля зсуву G . Залежність має вигляд

$$\frac{G}{G_{\max}} = K(\gamma, PL)(\sigma'_m)^{m(\gamma, PL) - m_0}, \quad (6)$$

$$\text{де } K(\gamma, PL) = 0,5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0,000102 + n(PL)}{\gamma} \right)^{0,492} \right] \right\}, \quad (7)$$

$$m(\gamma, PL) - m_0 = 0,272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0,000556}{\gamma} \right)^{0,4} \right] \right\} \exp(-0,0145 PL^{1,3}), \quad (8)$$

$n(PL) = 0$ для $PL = 0$,
 $n(PL) = 3,37 \times 10^{-6} PL^{1,404}$ для $0 < PL \leq 15$,
 $n(PL) = 7,0 \times 10^{-7} PL^{1,976}$ для $15 < PL \leq 70$,
 $n(PL) = 2,7 \times 10^{-5} PL^{1,115}$ для $PL > 70$.

Ішібаші та Занг [20] вивели емпіричне співвідношення, яке пов'язує коефіцієнт поглинання ґрунту з його модулем зсуву і пластичністю:

$$h = 0,333 \frac{1 + \exp(-0,0145 PL^{1,3})}{2} \left[0,586 \left(\frac{G}{G_{\max}} \right)^2 - 1,547 \frac{G}{G_{\max}} + 1 \right]. \quad (9)$$

У цій же роботі вказується, що особливо помітним є вплив напруження усебічного стиску на модуль зсуву і коефіцієнт поглинання в ґрунтах з низькою пластичністю та наводяться залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ для ґрунтів з низьким рівнем пластичності.

Вплив характеру консолідації на форму залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини деформації.

У роботі Кокушо [25] викладено результати досліджень впливу характеру консолідації (нормальне ущільнення, переущільнення, довготривале прикладання ущільнювального тиску) на зміну модуля зсуву і коефіцієнта поглинання у зразках природних глин непорушеної структури з числом пластичності 40...60. За результатами узагальнення даних цих досліджень було встановлено, що характер консолідації ґрунту не чинить помітного

впливу на зміну модуля зсуву і коефіцієнта поглинання. Тому модуль зсуву і коефіцієнт поглинання будуть зменшуватися або збільшуватися в широкому діапазоні деформацій зсуву в тій же пропорції, що й для зразків, які не піддавалися консолідації.

Деформаційні характеристики пісків із вмістом гравію.

Результати досліджень деформаційних характеристик пісків із вмістом гравію викладено в роботі Студера [35]. Його дослідження були викликані необхідністю вивчення сейсмічної небезпеки ділянок під будівництво таких важливих об'єктів, як підпірні греблі та атомні станції. Відібрані зразки ущільнювалися у форми діаметром 15 см і висотою 30 см. Отримані в результаті досліджень залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації представлено на рис. 7 і 8.

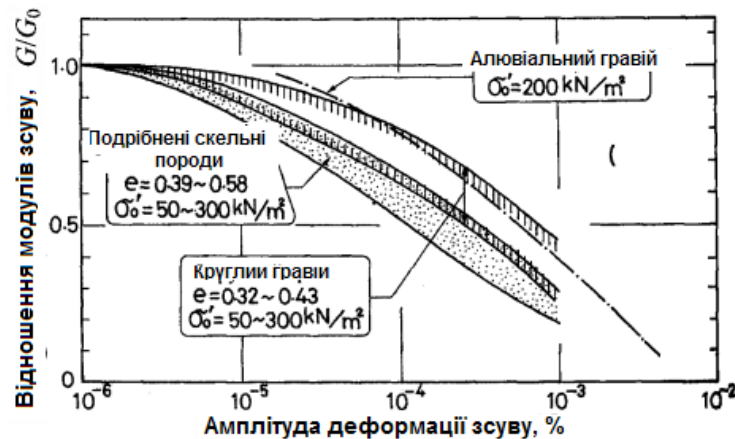


Рис. 7. Залежність модуля зсуву від деформації для крупнозернистих ґрунтів за [24]

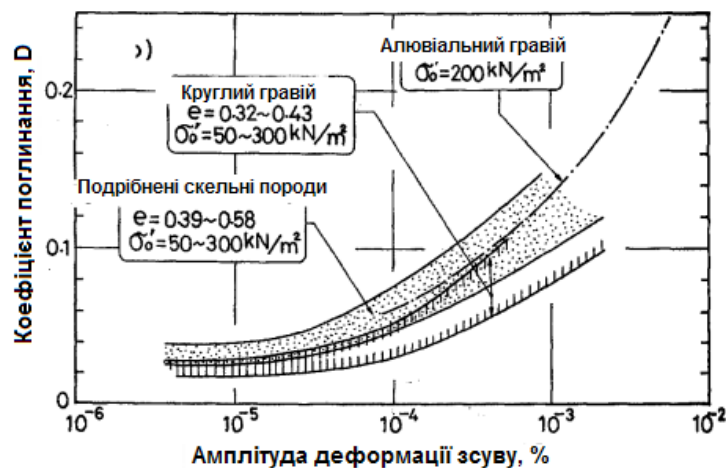


Рис. 8. Залежність коефіцієнта поглинання від деформації для крупнозернистих ґрунтів за [24]

Із рис. 7 видно, що зменшення модуля зсуву для щелебю і круглого гравію проявляється при рівні деформації, вищій від 5×10^{-6} , що є меншим, ніж для чистих пісків. Тому при моделюванні реакції ґрунтової товщі на сейсмічні впливи з урахуванням нелінійних властивостей ґрунту при виборі для розрахунків залежності модуля зсуву від деформації для гравелистих ґрунтів не варто використовувати залежності, одержані для пісків, що, наприклад, допускалося в роботах [31 та ін.]. Коефіцієнт поглинання для гравелистих ґрунтів починає збільшуватись приблизно на тому ж рівні деформації, що й для піщаних.

У результаті серії досліджень, проведених на зразках роздроблених скельних порід [25], була виявлена тенденція зниження модуля зсуву і зростання коефіцієнта поглинання при збільшенні деформації зсуву. Вона була підтверджена також дослідженнями Студера [30].

Результати досліджень впливу величини всебічного стиску на модуль зсуву і на коефіцієнт поглинання на зразках із вмістом гравію 25 і 50 %, представлених у роботі [36], указують на високий ступінь нелінійності поведінки такого ґрунту навіть за низьких напружень усебі-

чного стиску. Це пояснюється різким зменшенням модуля зсуву і зростанням коефіцієнта поглинання при зменшенні напружень. Модуль зсуву і коефіцієнт поглинання починають змінюватися при нижчому рівні зсувної деформації, ніж це спостерігається в раніше розглянутих зв'язних і незв'язних ґрунтах. При збільшенні кількості циклів навантаження модуль зсуву починає зменшуватися при нижчому рівні деформації. Однак ці властивості ґрунту не є постійними. Вони лише характеризують його конкретний стан.

У результаті аналізу великого об'єму експериментальних даних, представлених у роботах [13, 41 та ін.], зроблено висновки, що на форму кривої зменшення модуля зсуву більше впливає величина індексу пластичності, ніж інші показники.

Проаналізувавши велику кількість результатів динамічних випробувань різних глинистих ґрунтів Вучетич [39, 40] запропонував залежність (див. рис. 9), яка пов'язує порогову деформацію зсуву і число пластичності для таких ґрунтів. Згідно із встановленою залежністю коефіцієнт поглинання починає збільшуватися при виході деформації зсуву за межі ділянки пружності.

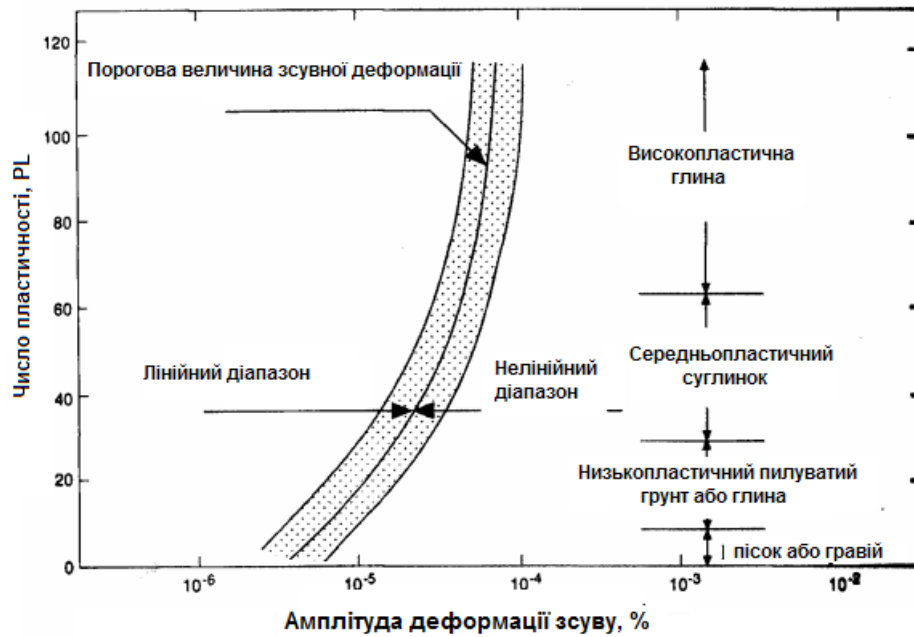


Рис. 9. Взаємозв'язок порогових значень деформації зсуву і пластичності ґрунтів за [39, 40]

За результатами проведених робіт побудовані залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації для ґрунтів з різними індексами пластичності PL наведено на рис. 10 і 11.

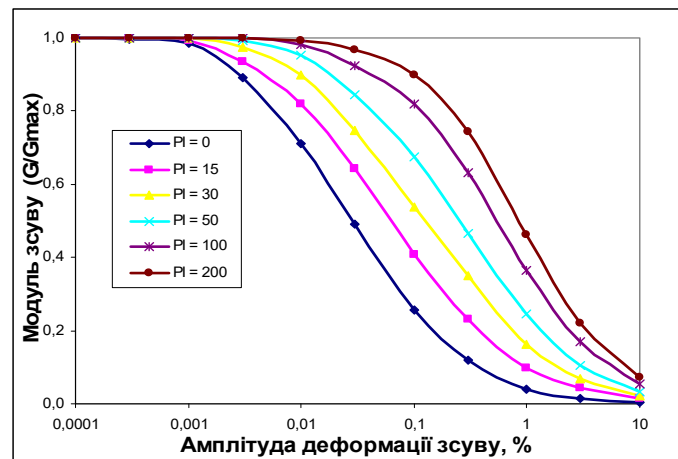


Рис. 10. Залежність модуля зсуву від величини зсувної деформації для глинистих ґрунтів з різними індексами пластичності (за даними [41])

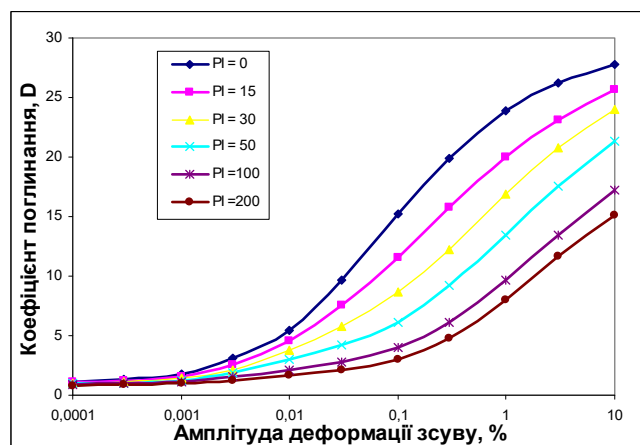


Рис. 11. Залежність коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації для глинистих ґрунтів з різними індексами пластичності (за даними [41])

На думку багатьох авторів [33, 41 та ін.], число пластичності може впливати на зміну модуля зсуву і коефіцієнта поглинання. Саме воно контролює форму залежності коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації. Дослідження Г. Ланзо [33] для глин із числом пластичності 15 і 30 показали, що за однакових умов меншому числу пластичності, як правило, відповідає більший коефіцієнт поглинання. Найчіткіше це виявляється при величині зсувної деформації, починаючи з 0,01 %. У роботах [25, 44] відзначено, що модулі зсуву ґрунтів з високою пластичністю зменшуються повільніше, ніж модулі зсуву низькопластичних ґрунтів.

Із графіків на рис. 10 і 11, побудованих за результатами досліджень [41], видно, що поріг "нелінійної поведінки" ґрунтів з високою пластичністю перебуває в області

більших значень зсувної деформації, ніж для ґрунтів з низькою пластичністю. Цей висновок є важливим при прогнозуванні реакції ґрунту на сейсмічні впливи.

Для практичного використання можна припустити, що для ґрунтів з індексом пластичності $PL = 0$ залежність модуля зсуву та коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації буде близькою до аналогічної залежності для крупнозернистих ґрунтів.

За результатами досліджень, проведених в 90-х рр. XX ст., Айдріс [18] уточнив залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, наведені в роботі [41] для ґрунтів з індексом пластичності $PL = 30, 50$ і 100 . Відмінності в значеннях залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ з робіт [41, 18] подано в табл. 1 і 2.

Таблиця 1. Відношення модуля зсуву G до його максимального значення $G_{\max}$ для ґрунтів з різною пластичністю при різних величинах деформації зсуву за даними [41] і [18]

Деформація зсуву (%)	Відношення G до $G_{\max}$					
	$PL = 30$ [41]	$PL = 30$ [18]	$PL = 50$ [41]	$PL = 50$ [18]	$PL = 100$ [41]	$PL = 100$ [18]
0,0001	1,000	1,00	1,000	1,00	1,000	1,00
0,0003	1,000	1,00	1,000	1,00	1,000	1,00
0,001	1,000	1,00	1,000	1,00	1,000	1,00
0,003	0,975	0,99	0,992	0,99	1,000	1,00
0,01	0,898	0,91	0,953	0,95	0,982	0,98
0,03	0,749	0,75	0,846	0,85	0,925	0,93
0,1	0,537	0,55	0,676	0,68	0,818	0,82
0,3	0,350	0,36	0,465	0,48	0,631	0,63
1	0,162	0,17	0,246	0,28	0,365	0,38
3	0,070	0,09	0,105	0,14	0,169	0,18
10	0,023	0,04	0,034	0,06	0,054	0,07

Таблиця 2. Коефіцієнт поглинання для ґрунтів з різною пластичністю при різних величинах деформації зсуву за даними [41] і [18]

Деформація зсуву (%)	Коефіцієнт поглинання для ґрунтів з різною пластичністю, %					
	$PL = 30$ [41]	$PL = 30$ [18]	$PL = 50$ [41]	$PL = 50$ [18]	$PL = 100$ [41]	$PL = 100$ [18]
0,0001	1,03	0,2	0,96	0,2	0,90	0,2
0,0003	1,13	0,5	1,04	0,5	0,95	0,5
0,001	1,41	0,8	1,27	0,8	1,14	0,8
0,003	2,15	1,4	1,93	1,4	1,56	1,2
0,01	3,74	3,0	2,95	2,4	2,08	1,9
0,03	5,80	5,1	4,20	3,9	2,82	2,8
0,1	8,64	8,5	6,15	6,2	4,03	4,0
0,3	12,25	12,3	9,17	9,3	6,08	6,2
1	16,86	16,9	13,41	13,4	9,68	9,7
3	20,80	21,1	17,57	17,6	13,46	13,9
10	24,00	26,3	21,35	22,8	17,20	19,1

Із табл. 1 і 2 видно, що модуль зсуву в роботах [41] і [18] відрізняється, починаючи з деформації зсуву вищої від 0,003 %, а коефіцієнт поглинання, згідно з [18], є значно меншим від коефіцієнта поглинання, визначеного за даними [41] при значеннях деформації в діапазоні 0,0001 % ÷ 0,1 %. Зазначена відмінність у значеннях модуля зсуву і коефіцієнта поглинання, одержаних у різні роки, указує на необхідність при розрахунках реакції ґрунту на сейсмічні впливи використовувати якомога новіші дані. Як правило, дані, одержані в минулому столітті, є менш точними через використання недостатньо точної апаратури і методики обробки даних. Зміна параметрів

у зазначеному діапазоні зсувної деформації може внести суттєві корективи до результатів розрахунків сейсмічних впливів для ділянок на слабосейсмічних територіях, до яких належить значна частина України.

Вплив розміру частинок та їхнього відсоткового вмісту в піщаних породах на модуль зсуву і коефіцієнт поглинання.

Результати досліджень впливу розміру частинок піщаних порід з різним відсотковим вмістом на залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ викладено в роботі [29]. На рис. 12 і 13 наведено графіки залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання, побудовані за даними роботи [29].

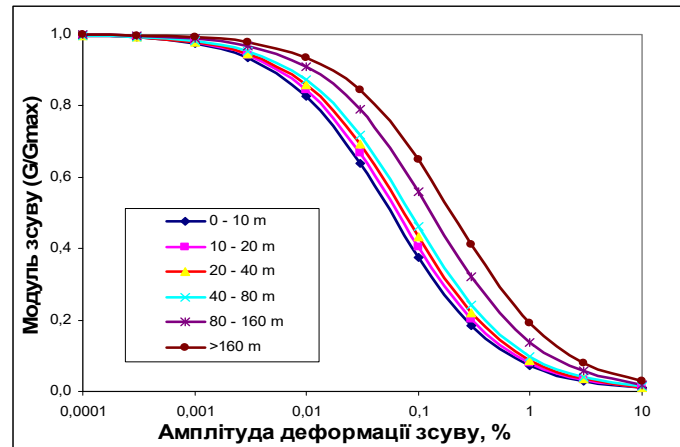


Рис. 12. Залежність модуля зсуву від величини зсувної деформації для ґрунтів із вмістом, менше 30 % частинок з розмірами $d < 0,075$ мм для різної глибини залягання шарів ґрунту (за даними роботи [29])

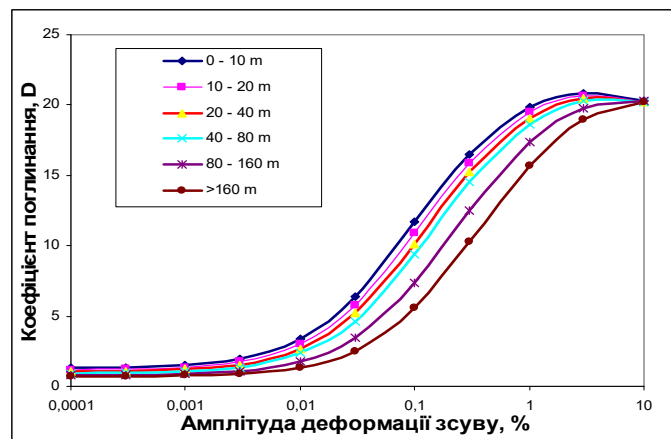


Рис. 13. Залежність коефіцієнта поглинання від зсувної деформації для ґрунтів із вмістом менше 30 % частинок з розмірами $d < 0,075$ мм для різної глибини залягання шарів ґрунту (за даними роботи [29])

На рис. 12 і 13 представлено залежності (за даними роботи [29]), які завдяки використанню вдосконаленої апаратурно-методичної бази уточнили залежності, опубліковані раніше в роботі [14].

У роботі [43] відзначається, що розраховані з використанням записів реальних землетрусів залежності модуля зсуву і поглинання від величини деформації добре узгоджуються із залежностями, отриманими в лабораторних і польових умовах. Завдяки цьому зібрані за останній період часу (1996–2016) в базі даних фондів й опубліковані емпіричні залежності модуля зсуву і поглинання від величини деформації можуть з високим рівнем надійності використовуватися при моделюванні реакції ґрунтів на сейсмічні впливи з урахуванням нелінійних властивостей ґрунтів.

Вплив епістемічних похибок при виборі залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації на параметри частотної характеристики моделі ґрунтової товщі.

В Інституті геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України проведено дослідження впливу епістемічних похибок, які вносяться при виборі відповідних залежностей модуля зсуву $G(\gamma)$ і коефіцієнта поглинання $D(\gamma)$ від величини зсувної деформації, на параметри розрахованої частотної характеристики моделі ґрунтової товщі.

На рис. 14 представлено амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) ґрунтової товщі під будівельним майданчиком у Печерському районі м. Києва, розраховану із застосуванням еквівалентного лінійного моделювання за допомогою програмного продукту PROSHAKE. Нелінійні характеристики шарів моделі ґрунтової товщі апроксимувались залежностями $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ двома способами: 1) з урахуванням літологічного складу та фізико-механічних властивостей кожного шару; 2) без урахування літологічного складу та фізико-механічних властивостей кожного шару (тобто з наявністю епістемічних похибок в описанні фізико-механічних властивостей та літологічного складу моделі ґрунтової товщі).

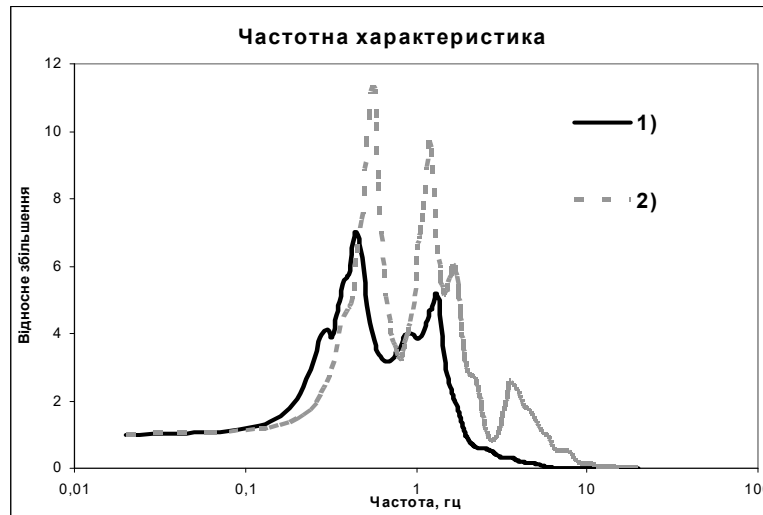


Рис. 14. АЧХ ґрунтової товщі під будівельним майданчиком у Печерському районі м. Києва, розраховані з урахуванням нелінійних властивостей ґрунтів: 1) вибір залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ виконувався з урахуванням літології кожного із шарів; 2) залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ розраховані з наявністю епістемічних похибок у літологічному складі шарів ґрунтової товщі

Із рис. 14 видно, що у випадку, коли літологічний склад і фізико-механічні властивості при апроксимації нелінійних характеристик кожного із шарів залежностями $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ задаються з похибками, у розрахованій АЧХ моделі ґрунтової товщі в частотному діапазоні від 1

до 10 Гц з'являються додаткові максимуми і спостерігається збільшення коефіцієнтів підсилення в усіх максимумах характеристики. У табл. 3 наведено числові значення максимумів АЧХ, поданих на рис. 14.

Таблиця 3. Числові значення АЧХ представлених на рис. 14

Номер максимуму АЧХ	Використання $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ з урахуванням літологічного складу та фізико-механічних властивостей кожного із шарів		Використання $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ з епістемічними похибками в літологічному складі та фізико-механічних властивостей шарів	
	Частота, Гц	Коефіцієнт підсилення	Частота, Гц	Коефіцієнт підсилення
1	0,44	7,01358	0,56	11,37226
2	1,32	5,20448	1,2	9,7236
3	—	—	3,58	2,58074

Із таблиці випливає таке. Якщо апроксимація шарів моделі ґрунтової товщі відповідними залежностями $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ здійснювалася з епістемічними похибками в літологічному складі та фізико-механічних властивостей ґрунтових шарів, то розрахунок АЧХ може призвести до результатів із суттєвими похибками, а саме:

- до появи більшої кількості максимумів АЧХ (частина з яких будуть хибними);
- до неконтрольованого зміщення максимумів АЧХ як у бік нижчих, так і у бік вищих частот;
- до значної зміни значень відносного підсилення коливань.

Дослідження впливу епістемічних похибок, які містяться в залежностях $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, одержаних без використання вдосконаленої апаратурно-методичної бази, наприклад [34], та з використанням аналогічних уточнених залежностей з роботи [29], приводять до результатів, показаних на рис. 15. При розрахунку АЧХ використовувалася модель ґрунтової товщі під будівельним майданчиком по вул. Березняківська, 30 в м. Києві. Розрахунок виконано з використанням еквівалентного лінійного моделювання за допомогою програмного продукту PROSHAKE.

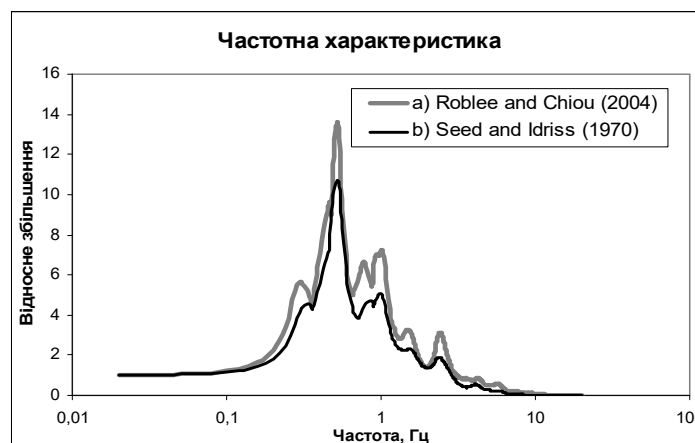


Рис. 15. АЧХ ґрунтової товщі під будівельним майданчиком по вул. Березняківська, 30 в м. Києві, розраховані з урахуванням нелінійних властивостей для шарів ґрунту, складених пісками за даними: а) [29]; б) [34]

З рис. 15 видно, що при використанні залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, отриманих у результаті досліджень деформаційних характеристик ґрунтів у 2000-х рр., порівняно із залежностями, отриманими в 1970-х рр., видно незначне збільшення ширини частотної області АЧХ, на якій спостерігається підсилення сейсмічних коливань ґрунту, і чіткіше виявляються його максимуми. Зміщення частот максимумів при цьому не спостерігається. Таким чином, можна сформулювати такі висновки.

- При використанні застарілих числових залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, можна недооцінити частотний діапазон резонуючого підсилення сейсмічних коливань.

- Залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, отримані за результатами лабораторних і польових досліджень з використанням недосконалої апаратурно-методичної бази, потребують уточнення інформації про основні параметри, які визначають характер залежностей модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації: число пластичності для глинистих порід, розмір частинок та їхній відсотковий вміст для піщаних порід.

Висновки. У статті представлено результати збирання, аналізу і систематизації матеріалів лабораторних і польових досліджень деформаційних характеристик ґрунтів, одержаних дослідниками Японії та США. В умовах значних сейсмічних навантажень деформаційні характеристики ґрунту стають нелінійними. Ця властивість ґрунтів виражається через модуль зсуву G і коефіцієнт поглинання D , величини яких можуть суттєво змінюватися залежно від величини деформації зсуву γ . При еквівалентному лінійному і нелінійному моделюванні реакції ґрунту на сейсмічні впливи необхідно в розрахункових сейсмогеологічних моделях ґрунтової товщі задавати для кожного шару додаткові параметри, які характеризують нелінійні властивості ґрунтів, а саме залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$. Отримати в лабораторних або польових умовах такі залежності для кожного шару ґрунту верхньої частини розрізу під будівельним майданчиком в умовах України практично неможливо. У зв'язку з цим необхідно використовувати фондові й опубліковані матеріали, одержані зарубіжними авторами.

Результати детального вивчення матеріалів досліджень зміни значень динамічних параметрів ґрунтів при деформаціях різної величини узагальнено в базі даних про залежності $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ для різних типів ґрунтів, характерних для майданчиків, розташованих на території України. На її базі:

- досліджено вплив літологічного складу та фізико-механічних параметрів ґрунту на зменшення модуля зсуву і збільшення коефіцієнта поглинання;

- виділено основні параметри, за якими можна ефективно апроксимувати нелінійні властивості кожного із шарів моделі ґрунтової товщі відповідними залежностями $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$: для глинистих порід – це індекс пластичності PL та глибина залягання; для піщаних порід – розмір частинок, їхній відсотковий вміст і глибина залягання;

- можливо на рівні сучасних знань урахувати нелінійні властивості ґрунтів при математичному моделюванні їхньої реакції на сейсмічні впливи;

- досліджено вплив епістемічних похибок, які можуть виникнути при виборі залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$ для ґрунтових шарів розрахункової сейсмогеологічної моделі, на параметри її частотної характеристики, обчислюваної з використанням програмного продукту PROSHAKE для еквівалентного лінійного моделювання реакції ґрунтової товщі на сейсмічні впливи.

Методологічний підхід до формування розрахункових сейсмогеологічних моделей ґрунтової товщі шляхом введення залежностей $G(\gamma)$ і $D(\gamma)$, які відображають не-

лінійні властивості ґрунту, дозволяє максимально наблизити обчислювані частотні характеристики ґрунтової товщі до реальних, що значно підвищить обґрунтованість і точність визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки на досліджуваних будівельних та експлуатаційних майданчиках. Зазначені дані необхідні для розробки ефективних заходів із забезпечення сейсмостійкості проєктованих і наявних об'єктів.

Список використаних джерел

1. Вознесенский Е. А. Природа и закономерности затухания волн напряжений в грунтах / Е. А. Вознесенский, Е. С. Кушнарева, В. В. Фуникова. – М.: Флинта, 2014. – 104 с.
2. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях : пер. с англ. / К. Ишихара. – СПб.: НПО "Георекострукция-Фундаментпроект", 2006. – 383 с.
3. Кендзера О. В. Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів (практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України) / О. В. Кендзера // Вісн. НАН України. – 2015. – № 2. – С. 44–57. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_2_10.
4. Кендзера О. В. Сейсмічна небезпека і сейсмічний захист в Україні / О. В. Кендзера // Укр. географ. журн. – 2015. – № 3. – С. 9–15. <http://dx.doi.org/10.15407/ugz2015.03>.
5. Кондратьев О. К. Сейсмические волны в поглощающих средах / О. К. Кондратьев. – М.: Недра, 1986. – 176 с.
6. A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan / T. Iwasaki, F. Tatsuoka, K. Tokida, S. Yasuda // Proc. of the 2nd Int. Conf. on Microzonation for Safer Construction, Research and Application, San Francisco, California. – 1978. – № 2. – P. 885–896.
7. Anderson D.G. Effect of straining on shear modulus of clays / D. G. Anderson, F. E. Richart // Geotechnical Engineering Division, ASCE. – 1976. – № 102. – P. 975–987.
8. Andreasson B. A. Deformation Characteristics of Soft, High-Plastic Clays under Dynamic Loading Conditions / B. A. Andreasson // Doctoral Thesis. Dept. of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg. – 1979. – 242 p.
9. Andreasson B. A. Dynamic Deformation Characteristics of a Soft Clay / B. A. Andreasson // International Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri. – 1981. – P. 65–70.
10. Bardet J. P. NERA: A computer program for nonlinear earthquake site response analyses of layered Soil Deposits / J. P. Bardet, T. Tobita. – Los Angeles: Univ. of Southern California, 2001. – 44 p.
11. Bardet J. P. EERA: A Computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered soil deposits / J. P. Bardet, K. Ichii, C. H. Lin – Los Angeles: Univ. of Southern California, Department of Civil Engineering. – 2000. – 40 p.
12. Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves. / K. H. Stokoe, M. B. Darendeli, R. B. Gilbert, F.-Y. Menq, W.-K. Choi // Proc. NSF/PEER Int. Workshop on Uncertainties in Nonlinear Soil Properties and their Impact on Modeling Dynamic Soil Response, Univ. of California at Berkeley. – Berkeley, California. – 2004. <http://peer.berkeley.edu/lifelines/Workshop304>.
13. Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils: report / Univ. of California at Berkeley; J. I. Sun, R. Golekorkhi, H. B. Seed. – № UCB/EERC-88/15. – Berkeley, California, 1988.
14. Guidelines for determining design basis ground motions. V. 1 : Method and guidelines for estimating earthquake ground motion in eastern North America: report / EPRI, Electrical Power Research Institute. – № EPRI TR-102293. – Palo Alto, CA., 1993.
15. Guide for estimating the dynamic properties of South Carolina soils for ground response analysis. / R.D. Andrus, J. Zhang, B.S. Ellis, C.H. Juang. – South Carolina Department of Transportation, Columbia, SC, 2003. – FHWA-SC-03-07. – 141 p.
16. Hardin B. O. Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves / B. O. Hardin, V. P. Drnevich // Journal of the Soils Mechanics and Foundation Engineering Division. – 1972. – ASCE 98(SM7) – P. 667–692.
17. Hashash Y. DeepSoil User Manual and Tutorial. / Y. Hashash. – Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign. Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign. – 2012. – 107 p.
18. Idriss I. M. An Update to the Seed-Idriss Simplified Procedure for Evaluating Liquefaction Potential. / I. M. Idriss // Proc. of TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction, Federal Highway Administration, Washington DC, 10 January 1999. – 1999.
19. Isenhower W. M. Strain Rate Dependent Shear Modulus of San Francisco Bay Mud / W. M. Isenhower, K. H. Stokoe // Proc. of the International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soils Dynamics, University of Missouri-Rolla. – 1981. – № 2. – P. 597–602.
20. Ishibashi I. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay / I. Ishibashi, X. J. Zhang // Soils Found. – 1993. – № 33(1). – P.182–191.

21. Iwasaki T. Shear moduli of sands under cyclic torsional shear loading / T. Iwasaki, F. Tatsouka, Y. Takagi // *Soils Found.* – 1978. – № 18(1). – P. 39–56.
 22. Kendzera O. Seismic hazard and seismic protection in Ukraine / O. Kendzera // In: *Earth reality along the silk road and scientific cooperation.* Atatürk Üniversitesi: ERZURUM. – 2015. – P. 61–72.
 23. Kim T. C. Dynamic properties of some cohesive soils of Ontario / T. C. Kim, M. Novak // *Canadian Geotechnical Journal.* – 1981. – № 18(3). – P. 371–389.
 24. Kokusho T. Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range / T. Kokusho // *Soils Found.* – 1980. – № 20. – P. 45–60.
 25. Kokusho T. Dynamic properties of soft clay for wide strain range / T. Kokusho, Y. Yoshida, Y. Esashi // *Soils Found.* – 1982. – № 22(4). – P. 1–18.
 26. Kovacs W. D. Dynamic moduli and damping ratios for a soft clay / W. D. Kovacs, H. B. Seed, C. K. Chan // *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE.* – 1971. – № 97(SM1). – P. 59–75.
 27. Kramer S. L. *Geotechnical Earthquake Engineering* / S. L. Kramer. – N. J.: Prentice Hall, Upper Saddle River. – 1996. – 672 p.
 28. ProShake Ground Response Analysis Program, version 1.1. User's Manual, EduPro Civil Systems. – Washington, USA. – 1998. – 54 p.
 29. Roblee C. A proposed geotindex model for design selection of non-linear properties for site response analyses / C. Roblee, B. Chiou // *Proceedings, International Workshop on Uncertainties in Nonlinear Soil Properties and Their Impact on Modeling Dynamic Soil Response, University of California, Berkeley, California.* – 2004.
 30. Sagaseta C. Cyclic loading. / C. Sagaseta, V. Cuellar, M. Pastor // *Proc. of the tenth European conference on soil mechanics and foundation engineering.* – 1991. – № 3. – P. 981–990.
 31. Seed H. B. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes / H. B. Seed, I. M. Idriss. – *Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.* – 1982.
 32. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites: report / *Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California; P. B. Schnabel, J. Lysmer, H. B. Seed.* – № EERC 72-12. – Berkeley, California, 1972. – 102 p.
 33. Simple shear testing of sensitive very soft offshore clay for wide strain range / G. Lanzo, A. Pagliaroli, P. Tommasi, F. L. Chiocci // *Canadian Geotech. J.* – 2009. – № 46(11). – P. 1277–1288.
 34. Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis: report / *Earthquake Engineering Research Center, University of California; H. B. Seed, I. M. Idriss* – № UCB/EERC-70/10. – Berkeley, California, 1970. – 48 p.
 35. Studer J. Investigation on Cyclic Stress-Strain Characteristics of Gravel Material / J. Studer, N. Zingg, E. G. Prater // *Proc. of the seventh World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey.* – 1980. – № 3. – P. 355–362.
 36. Study on the mechanical properties of gravel-Dynamic properties of reconstituted sample: report / *Central Research Institute of Electric Power Industry; Y. Tanaka, K. Kudo, Y. Yoshida, M. Ikemi.* – № U87019. – 1987.
 37. Tatsuoka F. Hysteretic damping of sands and its relation to shear modulus / F. Tatsuoka, T. Iwasaki, Y. Takagi // *Soils Found.* – 1978. – № 18. – P. 25–40.
 38. Taylor P. W. Dynamic torsion testing of soils. / P. W. Taylor, I. M. Parton // *Proc. of the 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.* – 1973. – P. 425–432.
 39. Vucetic M. Cyclic Characterization for Seismic Regions Based on PI. / M. Vucetic // *Proc. of the 13th International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, India.* – 1994a. – № 1. – P. 329–332.
 40. Vucetic M. Effect of soil plasticity on cyclic response / M. Vucetic, R. Dobry // *Journal of Geotechnical engineering.* – 1991. – № 117. – P. 89–107.
 41. Vucetic M. Cyclic Threshold Shear Strains in Soils / M. Vucetic // *Journal of Geotechnical engineering* – 1994b. – № 120. – P. 2208–2228.
 42. Wang Y. H. Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. II. Effects of structure on mechanical properties / Y. H. Wang, W. K. Siu // *Canadian Geotechnical Journal.* – 2006. – № 43(6). – P. 601–618.
 43. Yoshida N. Nonlinear site response and its evaluation and prediction. In: / N. Yoshida, S. Iai // *The effects of Surface Geology on Seismic Motion.* Balkema, Rotterdam. – 1998. – P. 71–90.
 44. Zen K. Laboratory tests and in situ seismic survey on vibratory shear modulus of clayey soils with various plasticities / K. Zen, Y. Umehara, K. Hamada // *Proc. of the 5th Japanese Earthquake Engineering Symp., Japan.* – 1978. – P. 721–728.
- References**
1. Voznesenskiy, E. A. Kushnareva, E. S., Funikova, V. V. (2014). Nature and the laws of stress wave attenuation in soils. M.: Flinta, 104 p. [in Russian].
 2. Ishikhara, K. (2006). The behavior of soils during earthquakes. St. Petersburg: NPO "Georekonstruktsiya-Fundamentproekt", 383 p. [in Russian].
 3. Kendzera, O. V. (2015). Seismic hazard assessment and protection against earthquakes. Practical applications of developments of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine. *Bulletin of NAS of Ukraine*, 2, 44–57. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_2_10. [in Ukrainian].
 4. Kendzera, O. V. (2015). Seismic hazard and seismic protection in Ukraine. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal*, 3, 9–15. <http://dx.doi.org/10.15407/ugz2015.03>. [in Ukrainian].
 5. Kondratiev, O. K. (1986). Seismic wave in absorbing media. Moscow: Nedra, 176 p. [in Russian].
 6. Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., Yasuda, S. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan: *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Microzonation for Safer Construction, Research and Application.* San Francisco, California, 2, 885–896.
 7. Anderson, D. G., Richart, F. E. (1976). Effect of straining on shear modulus of clays. *J. Geotechnical Engineering Division (ASCE)*, 102(GT9), 975–987.
 8. Andreasson, B. A. (1979). Deformation Characteristics of Soft, High-Plastic Clays under Dynamic Loading Conditions. Doctoral Thesis. Dept. of Geotechnical Engineering. Chalmers University of Technology. Gothenburg, 242 p.
 9. Andreasson, B. A. (1981). Dynamic Deformation Characteristics of a Soft Clay. *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics.* St. Louis, Missouri, 1, 65–70.
 10. Bardet, J. P., Tobita, T. (2001). NERA. A computer program for nonlinear earthquake site response analyses of layered Soil Deposits. Los Angeles: Univ. of Southern California, 44 p.
 11. Bardet, J. P., Ichii, K., Lin, C. H. (2000). EERA: A Computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered soil deposits, Department of Civil Engineering, University of Southern California.
 12. Stokoe, K. H., Darendeli, M. B., Gilbert, R. B., Menq, F.-Y., Choi, W.-K. (2004). Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves: *Proc. NSF/PEER Int. Workshop on Uncertainties in Nonlinear Soil Properties and their Impact on Modeling Dynamic Soil Response.* Univ. of California at Berkeley. Berkeley, California. <http://peer.berkeley.edu/lifelines/Workshop304>
 13. Sun, J. I., Golekorkhi, R., Seed, H. B. (1988). Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils. Report No. UCB/EERC-88/15. Univ. of California at Berkeley. Berkeley, California.
 14. Electrical Power Research Institute, EPRI. (1993). Guidelines for determining design basis ground motions. Vol. 1: Method and guidelines for estimating earthquake ground motion in eastern North America., Report No. EPRI TR-102293. Palo Alto, California.
 15. Andrus, R. D., Zhang, J., Ellis, B. S., Juang, C. H. (2003). Guide for estimating the dynamic properties of South Carolina soils for ground response analysis. FHVASC-03-07. South Carolina Department of Transportation. Columbia, SC, 141 p.
 16. Hardin, B. O., Drnevich, V. P. (1972). Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves. *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Engineering Division.* ASCE 98(SM7), 667–692.
 17. Hashash, Y. (2012). DeepSoil User Manual and Tutorial. Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign. Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign, 107 p.
 18. Idriss, I. M. (1999). An Update to the Seed-Idriss Simplified Procedure for Evaluating Liquefaction Potential: *Proc. of TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction.* Federal Highway Administration. Washington DC, 10 January 1999.
 19. Isenhower, W. M., Stokoe K. H. (1981). Strain Rate Dependent Shear Modulus of San Francisco Bay Mud. *Proc. of the International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soils Dynamics.* University of Missouri-Rolla, 2, 597–602.
 20. Ishibashi, I., Zhang, X. J. (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils Found.*, 33(1), 182–191.
 21. Iwasaki, T., Tatsouka, F., Takagi, Y. (1978). Shear moduli of sands under cyclic torsional shear loading. *Soils Found.*, 18(1), 39–56.
 22. Kendzera, O. (2015). Seismic hazard and seismic protection in Ukraine. In: *Earth reality along the silk road and scientific cooperation.* Atatürk Üniversitesi: ERZURUM, 61–72.
 23. Kim, T. C., Novak, M. (1981). Dynamic properties of some cohesive soils of Ontario. *Canadian Geotech. J.*, 18(3), 371–389.
 24. Kokusho, T. (1980). Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range. *Soils Found.*, 20, 45–60.
 25. Kokusho, T., Yoshida, Y., Esashi, Y. (1982). Dynamic properties of soft clay for wide strain range. *Soils Found.*, 22(4), 1–18.
 26. Kovacs, W. D., Seed, H. B., Chan, C. K. (1971). Dynamic moduli and damping ratios for a soft clay. *ASCE. J. Soil Mech. Found. Div.*, 97(SM1), 59–75.
 27. Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering.* N. J.: Prentice Hall, Upper Saddle River, 672 p.
 28. ProShake Ground Response Analysis Program, version 1.1. User's Manual, EduPro Civil Systems. (1998). Washington, USA, 54 p.
 29. Roblee, C., Chiou, B. (2004). A proposed geotindex model for design selection of non-linear properties for site response analyses. *Proceedings, International Workshop on Uncertainties in Nonlinear Soil Properties and Their Impact on Modeling Dynamic Soil Response.* University of California, Berkeley, California.
 30. Sagaseta, C., Cuellar, V., Pastor, M. (1991). Cyclic loading: *Proc. of the tenth European conference on soil mechanics and foundation engineering*, 3, 981–990.
 31. Seed, H. B., Idriss, I. M. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Monograph. Earthquake Engineering Research Institute. Berkeley, California.
 32. Schnabel, P. B., Lysmer, J., Seed, H. B. (1972). SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Report No. EERC 72-12. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Center, University of California, 102 p.
 33. Lanzo, G., Pagliaroli, A., Tommasi, P., Chiocci, F. L. (2009). Simple shear testing of sensitive very soft offshore clay for wide strain range. *Canadian Geotech.*, 46(11), 1277–1288.

34. Seed, H. B., Idriss, I. M. (1970). Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis. Report № UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, 48 p.
35. Studer, J., Zingg, N., Prater, E. G. (1980). Investigation on Cyclic Stress-Strain Characteristics of Gravel Material: *Proc. of the seventh World Conference on Earthquake Engineering*. Istanbul, Turkey, 3, 355–362.
36. Tanaka, Y., Kudo, K., Yoshida, Y., Ikemi, M. (1987). A study on the mechanical properties of gravel-Dynamic properties of reconstituted sample. Central Research Institute of Electric Power Industry, Report U87019.
37. Tatsuoka, F., Iwasaki, T., Takagi, Y. (1978). Hysteretic damping of sands and its relation to shear modulus. *Soils Found*, 18, 25–40.
38. Taylor, P. W., Panton, I. M. (1973). Dynamic torsion testing of soils. *Proc. of the 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 425–432.
39. Vucetic, M. (1994a). Cyclic Characterization for Seismic Regions Based on PL. *Proc. of the 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. New Delhi, India, 1, 329–332.

40. Vucetic, M. (1994b). Cyclic Threshold Shear Strains in Soils. *J. Geotech. Eng.*, 120, 2208–2228.
41. Vucetic, M., Dobry, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *J. Geotech. Eng.*, 117, 89–107.
42. Wang, Y. H., Siu, W. K. (2006). Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. II. Effects of structure on mechanical properties. *Can. Geotech. J.*, 43(6), 601–618.
43. Yoshida, N., Iai, S. (1998). Nonlinear site response and its evaluation and prediction. In: *The effects of Surface Geology on Seismic Motion*. Balkema, Rotterdam, 71–90.
44. Zen, K., Umehara, Y., Hamada, K. (1978). Laboratory tests and in situ seismic survey on vibratory shear modulus of clayey soils with various plasticities. *Proc. of the 5th Japanese Earthquake Engineering Symp.* Japan, 721–728.

Надійшла до редколегії 23.05.17

A. Kendzera, Cand. Sci. (Phys.-Math.),
Corresponding member of NAS of Ukraine, Deputy Director
E-mail: kendzera@igph.kiev.ua,
Yu. Semenova, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Research fellow
E-mail: ulaska@ukr.net
Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine
32 Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF COMPUTATIONAL MODELS OF SOIL STRATA

The method for determining of the deformation characteristics of the layers of computational models of soil strata for an equivalent linear and nonlinear modeling of soil response to seismic effects is considered in the article. The results of data collection, analysis and systematization of the results obtained in Japan and the USA laboratory and field studies of deformation characteristics of soils are presented. On this basis the database including the dependences of shear modules (G) and damping ratios (D) on the strain level (γ) for different types of soils typical for sites located in the Ukraine was created. The results of the study of the factors influencing the $G(\gamma)$ and $D(\gamma)$ dependencies are analyzed. Based on the results of the analysis, the main parameters are identified that control the shape of the graphs of the indicated dependencies and allow to quickly determining with appropriate accuracy of the corresponding dependencies for each layer of the models of soil strata from the generated database. These are a plasticity index PL and a depth of occurrence of the clays and the particle size, their percentage and depth for sand. The paper presents the results of the investigation of the influence of epistemic errors that arise when selecting the dependences $G(\gamma)$ and $D(\gamma)$ for the ground layers of the design seismogeological model on the parameters of its amplitude-frequency characteristic, calculated by using the equivalent linear modeling of the soil response caused by earthquakes. The calculations were performed by using PROSHAKE software. It is found that the errors in determining of the deformation characteristics of ground layers in the calculation model lead to a shift in the maxima of the frequency response in the frequency domain, to a change in the amplification coefficients of the vibrations and to the appearance of "false" maxima at high frequencies.

The database of $G(\gamma)$ and $D(\gamma)$ customized by the authors for different types of soils typical for sites located in Ukraine makes it possible to apply methods for modeling of the soil strata reaction caused by seismic impacts with taking into account the nonlinear behavior of soil response. The developed methodology for the formation of computed seismogeological models of the soil strata, by introducing the dependences $G(\gamma)$ and $D(\gamma)$, which reflect the nonlinear properties of soils, allows (at the level of modern knowledge) to approximate the calculated frequency characteristics of the soil to the real. As a result, the validity and accuracy of the determination of the quantitative parameters of the seismic hazard on the investigated construction and operational sites are increased, which is necessary for the development of effective measures for the seismic stability maintenance of the designed and existing facilities.

Keywords: soils, soil models, modeling of seismic oscillations, elastic and inelastic characteristics of the soil, epistemic and random errors, seismic impacts.

A. Кендзера, канд. физ.-мат. наук,
чл.-кор. НАН Украины, зам. директора
E-mail: kendzera@igph.kiev.ua,
Ю. Семенова, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
E-mail: ulaska@ukr.net
Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины
Пр. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ

Рассмотрена методика определения деформационных характеристик слоев расчетных моделей грунтовой толщи, необходимых для эквивалентного линейного и нелинейного моделирования ее реакции на сейсмические воздействия. Представлены результаты сбора, анализа и систематизации результатов лабораторных и полевых исследований деформационных характеристик грунтов, полученных в Японии и США. На этой основе создана база зависимостей (от величины сдвиговой деформации γ) модуля сдвига $G(\gamma)$ и коэффициента поглощения $D(\gamma)$ для различных типов грунтов, характерных для строительных площадок на территории Украины. Проанализированы результаты исследования факторов, влияющих на зависимости $G(\gamma)$ и $D(\gamma)$. По результатам анализа выделены основные параметры, которые контролируют форму графиков указанных зависимостей и позволяют быстро с допустимой точностью подобрать для каждого слоя модели грунтовой толщи соответствующие зависимости из сформированной базы данных. Для глинистых пород – это индекс пластичности PL и глубина залегания; для песчаных пород – размер частиц, их процентное содержание и глубина залегания. Представлены результаты исследования влияния эпистемических ошибок, которые возникают при выборе зависимостей $G(\gamma)$ и $D(\gamma)$ для грунтовых слоев расчетной сейсмогеологической модели, на параметры ее амплитудно-частотной характеристики, рассчитанной с использованием эквивалентного линейного моделирования колебаний грунта при землетрясениях. Расчеты выполнены с использованием программного продукта PROSHAKE. Установлено, что погрешности при определении деформационных характеристик грунтовых слоев в расчетной модели приводят к смещению максимумов АЧХ в частотной области, к изменению коэффициентов усиления колебаний, а также к появлению "ложных" максимумов на высоких частотах.

Созданная авторами база данных $G(\gamma)$ и $D(\gamma)$ для различных типов грунтов, характерных для площадок на территории Украины, позволяет применять методы моделирования реакции грунтовой толщи на сейсмические воздействия с учетом нелинейного поведения грунтов. Разработанная методика формирования расчетных сейсмогеологических моделей грунтовой толщи позволяет (на уровне современных знаний) путем введения зависимостей $G(\gamma)$ и $D(\gamma)$, которые отражают нелинейные свойства грунтов, максимально приблизить рассчитанные частотные характеристики грунтовой толщи к реальным. В результате повышается обоснованность и точность определения количественных параметров сейсмической опасности для исследуемых строительных и эксплуатационных площадок, что необходимо для разработки эффективных мероприятий по обеспечению сейсмостойкости проектируемых и существующих объектов.

Ключевые слова: грунты, модели грунтов, моделирование сейсмических колебаний, упругие и неупругие характеристики грунта, эпистемические и случайные ошибки, сейсмические воздействия.

УДК 550.834

С. Дейнеко¹, канд. геол. наук
E-mail: mailto:sideiukr.net,
С. Вижва², д-р геол.-мінерал. наук, проф.
E-mail: vyzhva_s@ukr.net,
Г. Нестеренко¹, директор
E-mail: atomEP@ukr.net,
А. Берневек¹, голов. спеціаліст
E-mail: atomEP@ukr.net,
С. Іващенко¹, голов. спеціаліст
E-mail: mamont_88@ukr.net

¹Державне підприємство "Київський інститут інженерних вишукувань і досліджень "Енергопроект", пр. Перемоги, 4, м. Київ, 01135, Україна
²Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

СЕЙСМОАКУСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ ҐРУНТІВ ДНІСТРОВСЬКОГО СХИЛУ (У ЗОНІ РОЗМІЩЕННЯ НАПІРНО-СТАЦІОНАРНОГО ВУЗЛА)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О. Є. Кошляковим)

Дністровська ГАЕС, як і більшість ГЕС, побудована у складних структурно-тектонічних та інженерно-геологічних умовах. На стан споруд, розміщених на крутому схилі, впливають техногенні (струшування території при скиданні води) та природні (велика кількість опадів сприяє інтенсифікації зсувних процесів) фактори. Для контролю за станом безпеки системи "ґрунт–споруда" розпочато сейсмоакустичний моніторинг.

Наведено результати сейсмоакустичних досліджень, виконаних у мережі стаціонарних свердловин на Дністровському схилі. Отримано вихідні характеристики швидкості розповсюдження пружних хвиль у породах геологічного розрізу території досліджень. Результати вимірів 2016 р. служитимуть як базові для порівняння з результатами вимірів наступних років з метою виявлення можливих змін у стані ґрунтів та, у випадку необхідності, виконання необхідних заходів для укріплення схилу.

Ключові слова: ґрунт, гідротехнічна споруда, моніторинг, сейсмоакустичні дослідження, міжсвердловинне сейсмічне прозвучування, сейсмічна томографія.

Дністровська ГАЕС, як і більшість ГЕС, побудована у складних структурно-тектонічних та інженерно-геологічних умовах у межах території з інтенсивністю сейсмічного впливу 7 балів [1] відповідно до карти ЗСР 2004-С. На стан споруд, розміщених на крутому схилі, де перепад висот становить більше 100 м, впливають техногенні фактори (струшування території при скиданні води) та природні (велика кількість опадів сприяє інтенсифікації зсувних процесів). Вплив наведених факторів може призвести до порушення безпеки системи "ґрунт–споруда". Для контролю за станом ґрунтів розпочато сейсмоакустичний моніторинг – прозвучування товщі ґрунтів міжсвердловинного простору для визначення швидкісних характеристик. У статті наведено результати сейсмоакустичних досліджень, виконаних у 2016 р. у мережі стаціонарних свердловин на Дністровському схилі. Отримано вихідні характеристики швидкості розповсюдження пружних хвиль у породах геологічного розрізу території досліджень: у нижньосарматських вапняках середня швидкість поздовжньої хвилі ($\bar{V}$) дорівнює 1,80 км/с; у тортонських глинах і пісках $\bar{V}=1,21$ км/с; у бронницьких аргілітах та алевролітах $\bar{V}=2,70$ км/с; у бернашовських пісковиках $\bar{V}=3,37$ км/с; у лядівських аргілітах та алевролітах (РЄ3ld) $\bar{V}=2,72$ км/с; у косоутських пісковиках (РЄ3cs) $\bar{V}=3,57$ км/с.

Результати вимірів 2016 р. служитимуть як базові для порівняння з результатами вимірів наступних років для виявлення можливих змін у стані ґрунтів та, у випадку необхідності, виконання необхідних заходів для укріплення схилу.

У роботі використано матеріали досліджень ДП КІВД "Енергопроект", отримані в рамках договору про співпрацю між КІВД та Київським національним університетом імені Тараса Шевченка.

Дністровський комплексний гідровузол включає Дністровську ГЕС-1, Дністровську ГЕС-2 та Дністровську ГАЕС. Станція виконує функцію буферного гідровузла і працює в базовому режимі на вирівняних витратах.

У тектонічному відношенні територія Дністровського комплексного гідровузла розташована в межах Волино-

Подільської монокліналі південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи.

У геологічній будові виділяються два структурні поверхи: нижній – складнодислокований кристалічний фундамент і верхній – осадовий чохол. Основні структурні комплекси – архейський, докембрійський, крейдовий і неогеновий, перекриті відкладами верхньоміоценових і четвертинних терас долини р. Дністер (еолово-делювіальних, пролювіальних та ін.) [2].

Згідно зі "Схемою інженерно-геологічного районування території України" територія розміщення ГЕС розташована в регіоні А (Волино-Подільська плита і Передкарпатський прогин), в області А-4 – структурно-денудаційна рівнина Подільської височини.

У сейсмотектонічному відношенні територія досліджень розташована в межах Прикарпатсько-Дністровської сейсмотектонічної провінції платформної частини України в межах Немирівсько-Жмеринської зони виникнення вогнищ землетрусів з незначним проявом сейсмічності, що виділена за комплексом геолого-геофізичних і сейсмотектонічних методів [4].

За гідрогеологічним районуванням [3] територія досліджень знаходиться в крайній південно-східній частині Волино-Подільського артезіанського басейну 1-го порядку, у межах Полісько-Подільського гідрогеологічного району 3-го порядку.

У зоні водоводів і шахт гідроагрегатів досліджуваний геологічний розріз представлений неопротерозойськими пісковицями, аргілітами та алевролітами могилів-подільської серії, перекритими верхньоплейстоценовими піщано-глинистими відкладами.

У зоні водоприймача свердловинами викрито піщано-глинисті ґрунти і вапняки міоценового віку, що перекриваються техногенними відкладами.

Основна концепція управління безпекою гідротехнічних споруд Дністровської ГАЕС полягає в реалізації вимог щодо необхідності ув'язати в одне ціле питання безпеки системи "основа–споруда" на всіх стадіях: вишукування, проектування, будівництва та експлуатація [1].

Ефективність контролю напрямку залежить від того, наскільки своєчасно здійснюються спостереження, а

створена база даних є головним першоджерелом для аналізу фактичного стану споруд на кожний період часу.

Слід відмітити, що на початку будівництва було прийнято рішення про необхідність систематичного контролю стану не тільки гідротехнічних споруд, але й стану масиву ґрунтів. Особливого значення надавалось контролю за станом Дністровського та Сокирянського схилів.

Саме ці елементи нині є найбільш уразливими, навіть небезпечними, щодо дотримання проектних або нормативних критеріїв безпеки зі стійкості.

Для оцінки сучасного стану ґрунтів на ділянці Дністровського схилу в зоні розміщення напірно-стаціонарного вузла в обладнаних свердловинах (рис. 1) виконано сейсмічне прозвучування міжсвердловинного простору.

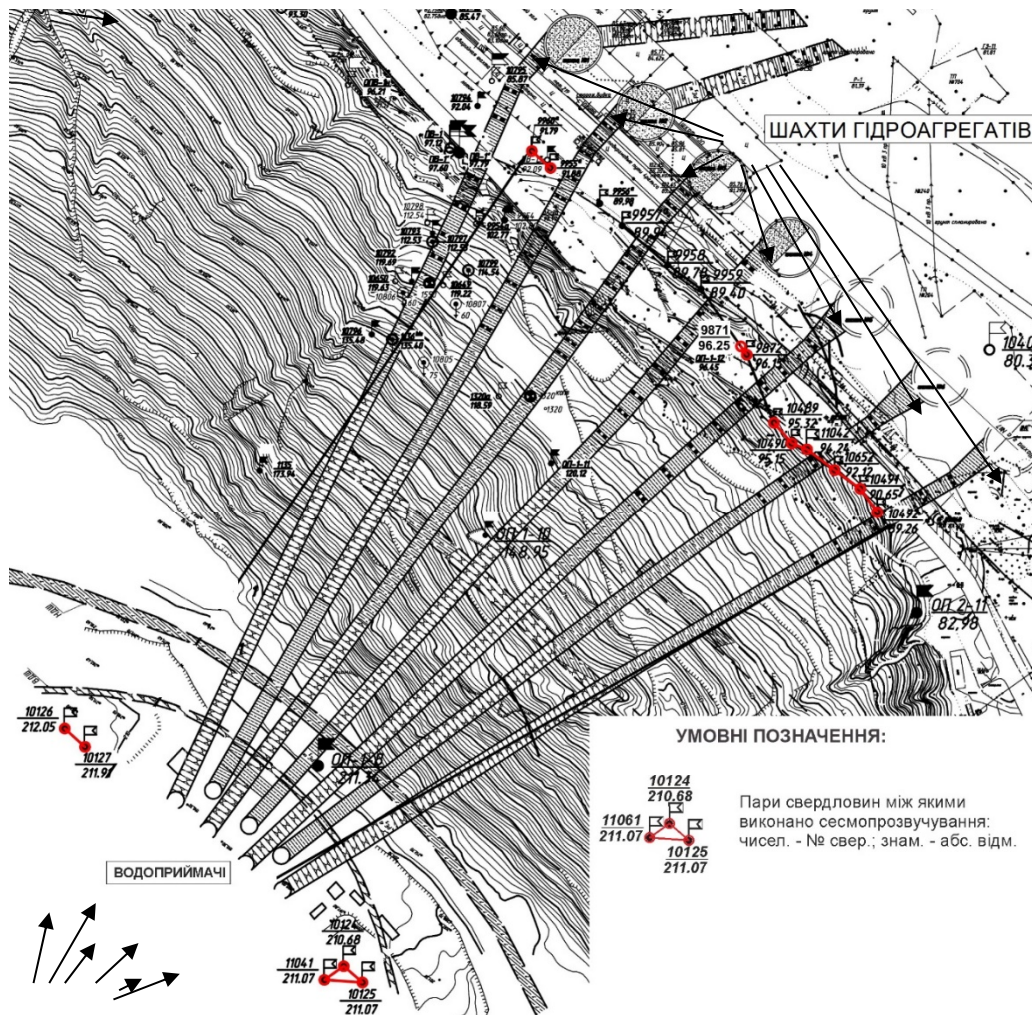


Рис. 1. Дністровський схил. Зона розміщення напірно-стаціонарного вузла

Фізичною основою інженерної сейсμοакустики є зв'язки, які існують між структурними особливостями та станом геологічного середовища, що вивчається, з одного боку, та із структурною полем пружних хвиль, їхніми кінематичними та динамічними властивостями з іншого. Найчастіше характеристиками поля пружних хвиль, що вивчаються, є: типи та кількість упевнено виділених пружних хвиль; час пробігу пружних хвиль від пункту збудження коливань (ПЗ) до пункту їхнього прийому (ПП); швидкості розповсюдження поздовжніх хвиль V_p .

Методика міжсвердловинної сейсмічної томографії (МСТ) полягала в збудженні пружних коливань в одній свердловині та реєстрації їх в іншій [5, 6]. З метою досягнення найбільшої щільності променів, найповнішого за кутовими координатами покриття досліджуваної області (один із важливих критеріїв якості вирішення томографічної задачі) використана зустрічна віяльна система спостережень. Ця система реалізована послідовним переміщенням джерела вздовж усього інтервалу досліджень по глибині (від забою до устя свердловини) із заданим кроком (крок приймачів) при фіксованому положенні гірлянди приймачів пружних коливань (Р-хвиль). Такі спо-

стереження повторювались для різних положень гірлянди фіксованих приймачів, які переміщувались по стволу свердловини з вибраним кроком збудження. У результаті була зареєстрована серія вертикальних хвильових полів, які відповідають сітці променів, що рівномірно покриває досліджуваний простір (рис. 2).

Для контролю за просторовим положенням у всіх свердловинах виконана інклінометрія (інклінометр DevProbe1 фірми Geotomographie GmbH, Німеччина).

Схему розташування свердловин, в яких виконано сейсμοпрозвучування, наведено на рис. 1.

На рис. 2 наведена схема спостережень, використана при сейсмічному прозвучуванні ґрунтів міжсвердловинного простору. Основні параметри системи спостережень (крок прийому, крок збудження) вибрано з урахуванням сейсмогеологічних особливостей ділянки і необхідної детальності досліджень. При міжсвердловинному прозвучуванні інтервал прийому становив 1 м, збудження – 1 м.

Джерелом збудження пружних коливань при виконанні досліджень використовувалося невибухове електрогідрравлічне джерело сейсмічних хвиль "SBS-42", потужність якого 1 кДж. Сейсμοакустичні дослідження вико-

нані цифровою сейсмічною станцією "Лакколіт-24М" виробництва фірми "ЛОГИС" (Росія) та комплектом апаратури фірми Geotomographie GmbH (Німеччина).

При проведенні сейсмопрозвучування необхідною умовою є необхідність заповнення свердловин водою та відсутність порожнин між обсадною колоною і затру-

бним простором (якісна затрубна цементация). Первинні заміри рівня води у свердловинах показали, що воду тримає тільки св. № 10490. Надалі, при заповненні свердловин водою, виявили св. № 11042, яка досить повільно втрачала воду, решта ж свердловин втрачали воду від декількох метрів за півгодини, до 100 % поглинання залитої води.

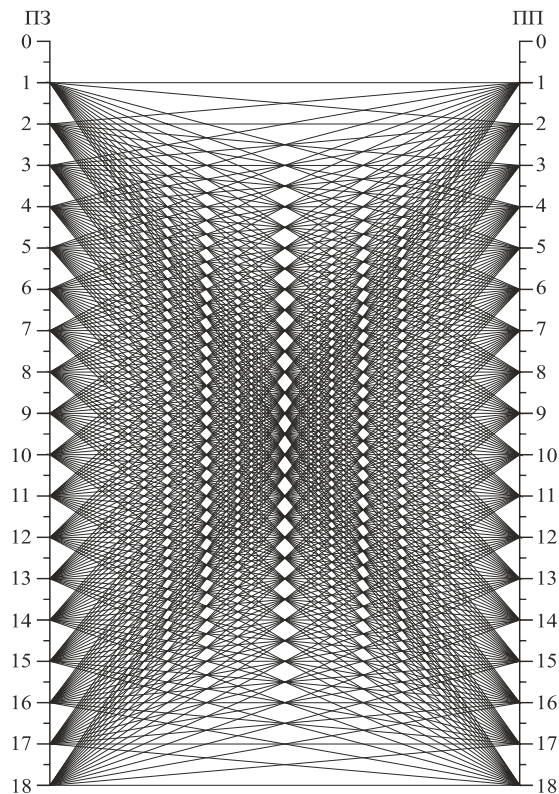


Рис. 2. Схема спостережень МСТ: ПЗ – пункт збудження пружної хвилі; ПП – пункт прийому

Свердловини, розташовані в зоні водоприймача, повністю поглинали залиту воду, роботи виконувались при постійному доливанні води, що значно ускладнювало проведення досліджень.

Залежно від декількох факторів (робота насосів, великі відстані між досліджуваними свердловинами, наявність у них води) корисний сигнал не завжди переважав над рівнем перешкод. В інтервалах, де відсутні порожнини в затрубному просторі й свердловина тримає воду, зареєстровано якісну хвильову картину.

Первинні матеріали являють собою цифрові сейсмограми, зареєстровані сейсмостанцією у форматі SEG-Y. Після операції мультиплексування (підсумовування) сейсмограми візуалізуються і набувають стандартного виду, зручного для обробки. Типову сейсмограму показано на рис. 3.

У деяких випадках, коли свердловина не тримала воду, якість матеріалів погіршувалась, на сейсмограмі неможливо виділити корисний сигнал (рис. 4).

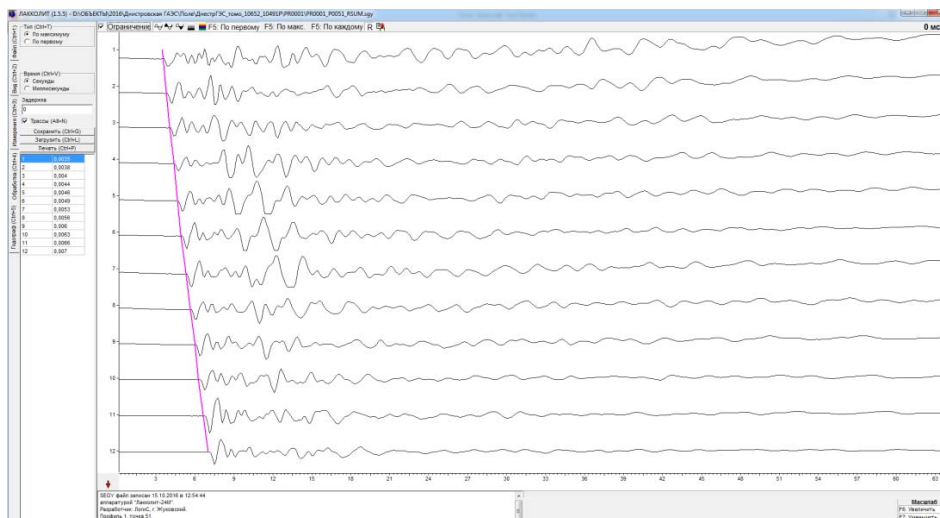


Рис. 3. Приклад зареєстрованої сейсмограми

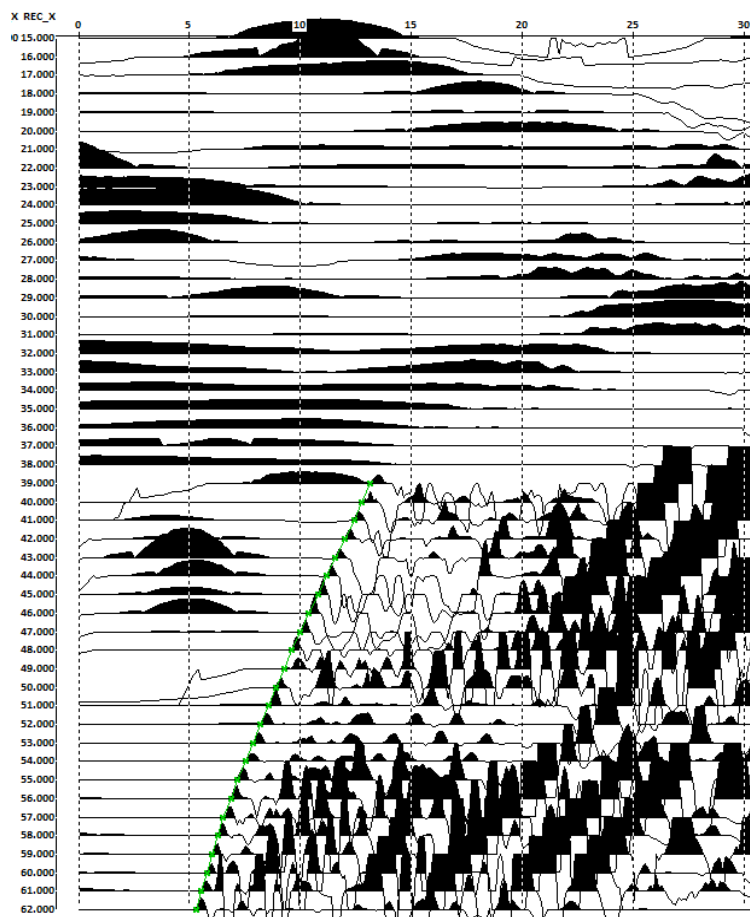
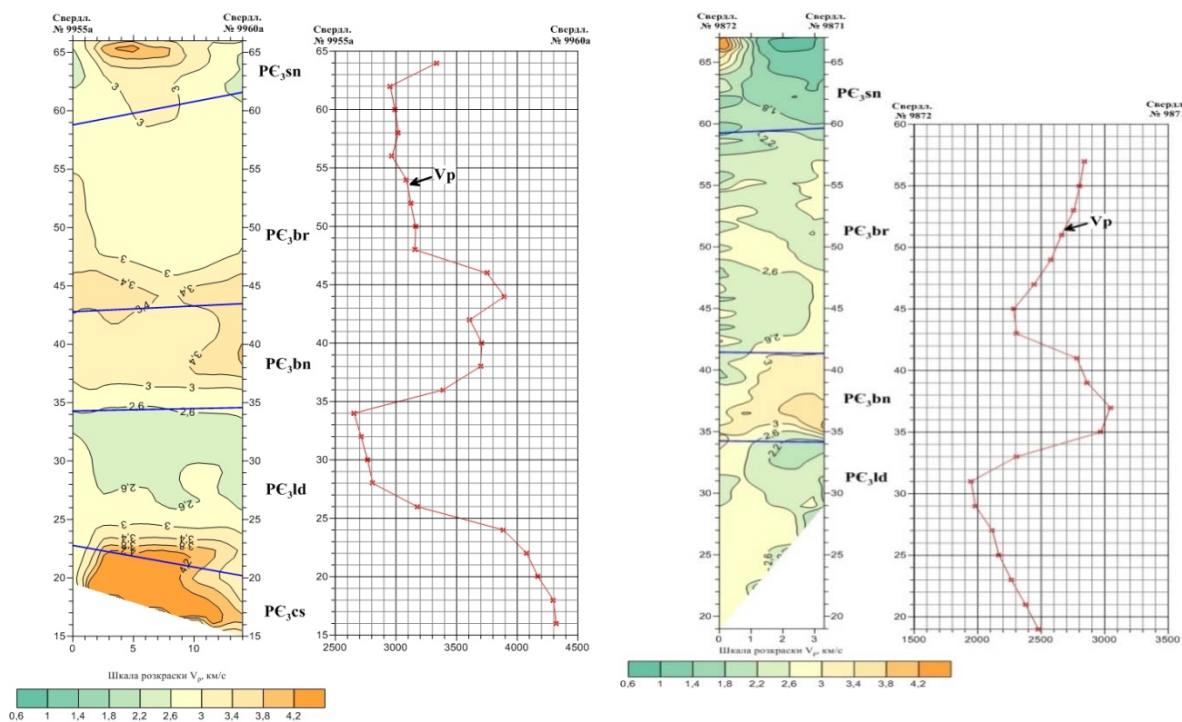


Рис. 4. Характерна хвильова картина при прозвучуванні між свердловинами, що частково заповнені водою (до 40 м)

Після обробки польових матеріалів результати сейсмічної томографії та прозвучування представлені у вигляді сейсмічних томограм і графіків V_p (рис. 5, а-г).



а

б

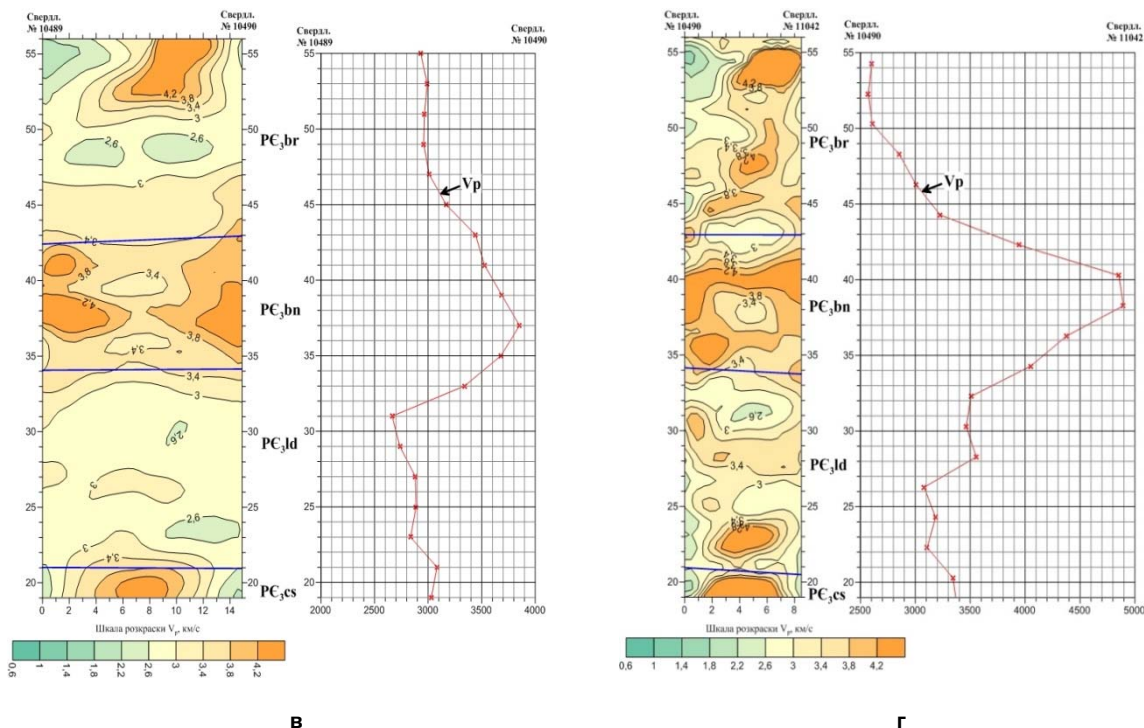


Рис. 5. Результати сейсмічної томографії та міжсвердловинного прозвучування:

а – свердловини 9955а–9960а; б – свердловини 9872–9871; в – свердловини 10489–10490; г – свердловини 10490–11042.

Умовні позначення: V_p – швидкість поздовжньої хвилі (на томографічному розрізі в км/с; на графіках у м/с);

N_{1s1} – нижньосарматські вапняки; N_{1t} – тортонські глини і піски; PC_{3br} – бронницькі аргіліти та алевроліти; PC_{3bn} – бернашовські пісковики; PC_{3ld} – лядівські аргіліти та алевроліти; PC_{3cs} – косоутські пісковики

На томограмах досить чітко виділяються високошвидкісні інтервали ($\bar{V}=3,37\text{--}3,57$ км/с), приурочені до пісковиків, та інтервали з пониженими значеннями швидкості ($\bar{V}=2,70\text{--}2,72$ км/с), що характерні для аргілітів та алевролітів.

Статистичні параметри V_p для виділених літотипів порід наведено в табл. 1 і будуть використані для порівняння та аналізу в наступних циклах моніторингу.

Таблиця 1. Статистичні параметри швидкостей поздовжніх хвиль в основних літотипах гірських порід (за даними сейсмічного прозвучування)

Індекс	Вік і тип гірських порід	І цикл		
		$\bar{V}^*$, км/с	σ^* , км/с	W^* , %
N_{1s1}	Нижньосарматські вапняки. Зона II–III	1,80	0,41	23,0
N_{1t}	Тортонські глини та піски. Зона II–III	1,21	0,26	22,0
PC_{3br}	Бронницькі аргіліти та алевроліти. Зона II	2,70	0,24	8,8
PC_{3bn}	Бернашовські пісковики. Зона III	3,37	0,36	10,6
PC_{3ld}	Лядівські аргіліти та алевроліти. Зона III	2,72	0,22	8,3
PC_{3cs}	Косоутські пісковики. Зона III	3,57	0,61	17,2

*Умовні позначення: $\bar{V}$ – середнє значення швидкості розповсюдження поздовжніх хвиль з вибірки $\bar{V} = \sum V_i / N$; σ – середньоквадратична похибка (стандарт) $\sigma = \sqrt{\sum (V_i - \bar{V})^2 / (n - 1)}$; W – коефіцієнт варіації $W = \sigma / \bar{V} \times 100\%$.

У результаті досліджень першого циклу моніторингових спостережень отримано вихідні характеристики швидкості розповсюдження пружних хвиль у породах геологічного розрізу території досліджень. Одержано показники пружних властивостей для основних літологічних типів гірських порід:

- у нижньосарматських вапняках (N_{1s1}) середня швидкість поздовжньої хвилі ($\bar{V}$) дорівнює 1,80 км/с;
- у тортонських глинах і пісках (N_{1t}) $\bar{V}=1,21$ км/с;
- у бронницьких аргілітах та алевролітах (PC_{3br}) $\bar{V}=2,70$ км/с;
- у бернашовських пісковиках (PC_{3bn}) $\bar{V}=3,37$ км/с;
- у лядівських аргілітах та алевролітах (PC_{3ld}) $\bar{V}=2,72$ км/с;
- у косоутських пісковиках (PC_{3cs}) $\bar{V}=3,57$ км/с.

Сейсмічне прозвучування надалі використовуватиметься як моніторингові спостереження для виявлення

можливих змін стану ґрунтів. Результати моніторингових спостережень дозволять, у випадку необхідності, своєчасно вжити відповідні заходи із забезпечення нормального режиму роботи об'єкта.

Список використаних джерел

- ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К.: ДП "Укрархмбудінформ", 2014. – 110 с.
- Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуш М-35-XXXIV (Могилів-Подільський) (у межах України). Пояснювальна записка. – К.: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба. УкрДГРІ, 2007.
- Карус Е. В. Межскважинное прозвучивание / Е. В. Карус, О. Л. Кузнецов, И. С. Файзулин. – М.: Недра, 1986. – 149 с.
- Сбор информации об общей характеристике сейсмичности территории Украины с целью районирования на непригодные для размещения АЭС участки с неблагоприятными условиями, для использования при разработке кадастра площадок под строительство энергоблоков

новых атомных станций: отчет о НИР / Г. Ф. Нестеренко, О. Н. Сафронов, Е. П. Иванченко, Г. Н. Бушмакина. – К. : МНХЦ Геодинамических исследований НАН Украины, КИИЗИ "Энергопроект", 2009. – 54 с.

5. Сейсмическая томография; пер. с англ. / под ред. Г. Нолета. – М. : Мир, 1990. – 416 с.

6. Специализированная гидрогеологическая карта грунтовых вод Украинской ССР. Масштаб 1:500 000. – К., 1995.

7. Чугунников В. С. Управление безопасностью Днестровской ГАЭС путем проведения постоянного мониторинга / В. С. Чугунников // Гидроэнергетика України. – 2012. – № 1. – С. 31–38.

References

1. DBN B.1.1-12 2014. (2014). Budivnytstvo u seysmichnyh rayonah Ukrainy. Ministerstvo regionalnogo rozvytku, budivnytstva ta ytylovo-komunalnogo gospodarstva Ukrainy. Kyiv: DP "Ukrarhminbudinform, 110 p. [in Ukrainian].

2. Derjavna geologichna karta Ukrainy mashtabu 1:200 000, arkush M-35- XXXIV (Mogylyv-Podilskiy) (v mejah Ukrainy). Poyasnuvalna zapiska.

(2007). Kyiv: Ministerstvo ohorony navkolyshnogo pryrodnoho seredovysha Ukrainy, Derjavna geologichna sluzhba. UkrDGRI. [in Ukrainian].

3. Karus, E. V., Kusnetsov, O. L., Fayzulin, I. S. (1986). Mejskvajinnoe prozvučivanie. M. : Nedra, 149 p. [in Russian].

4. Nesterenko, G. F., Safronov, O. N., Ivanchenko, E. P., Bushmakina, G. N. (2009). Sbor informacii ob obshey harakteristike seismichnosti Ukrainy s celyu rayonirivania na neprigodnie dla razmeshenia AES uchastki s neblagopriyatnymi usloviami, dla ispolzovania pri razrobotke ploshadok pod stroitelstvo energoblokov novyh atomnyh stanciy: otchet NIR. Kyiv: MNIHC Geodinamicheskikh issledovaniy NAN Ukrainy, Kiizi "Energooproekt", 54 p. [in Russian].

5. Noleta, G. (Eds.). (1990). Seismicheskaya tomografiya. M. : Mir, 416 p. [in Russian].

6. Specializirovannaya gidrogeologicheskaya karta gruntovykh vod Ukrainy SSR. Mashtab 1:500 000. (1995). Kyiv. [in Russian].

7. Chugunnikov, V. S. (2012). Upravlenie bezopasnostyu Dnestrovskoy GAES putem provodenia postoyannogo monitoringa. Gidroenergetika Ukrainy, 1, 31–38. [in Russian].

Надійшла до редколегії 15.01.17

S. Deineko¹, PhD (Geol.), Head of Geophysics department

E-mail: sidei@ukr.net,

S. Vyzhva², Dr.Sci (Geol.), Prof.

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

G. Nesterenko¹, director

E-mail: atomEP@ukr.net,

A. Bernevek¹, Chief Specialist

E-mail: atomEP@ukr.net,

S. Ivaschenko¹, Chief Specialist

E-mail: mamont_88@ukr.net

¹GP Kilzi "Energooprojekt", 4 Peremogy Av., Kyiv, 01135, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv

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

SEISMOACOUSTIC MONITORING OF THE STATE OF THE SOILS OF THE DNIESTRIAN SLOPE (IN THE ZONE OF ACCOMMODATION OF THE PRESSURE-STATIONARY UNIT)

The Dniester hydroelectric power station, like most HPPs, is built in complex structural-tectonic and engineering-geological conditions. The condition of structures located on a steep slope is affected by man-made (shaking of the territory when discharging water) and natural (large amount of precipitation contributes to the intensification of landslide processes) factors. To monitor the state of safety of the "soil-construction" system, seismoacoustic monitoring was started.

The article presents the results of seismoacoustic studies of stationary wells on the Dniester slope. Initial characteristics of the speed of propagation of elastic waves in rocks of the geological section of the study area were received. The results of the measurements of 2016 serve as basic ones, in order to compare with the results of measurements of the following years in order to identify possible changes in the state of soils, and, if necessary, to take the necessary measures to strengthen the slope.

Keywords: soil, hydraulic engineering structure, monitoring, seism acoustic research, cross-hole seismic testing, seismic tomography.

С. Дейнеко¹, канд. геол. наук

E-mail: sidei@ukr.net,

С. Выхва², д-р геол. наук, проф.

E-mail: vyzhva_s@ukr.net,

Г. Нестеренко¹, директор

E-mail: atomEP@ukr.net,

А. Берневек¹, глав. специалист

E-mail: atomEP@ukr.net,

С. Иващенко¹, глав. специалист

E-mail: mamont_88@ukr.net

¹Государственное предприятие "Киевский институт инженерных изысканий и исследований "Энергопроект", пр. Победы, 4, г. Киев, 01135, Украина

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ДНЕСТРОВСКОГО СКЛОНА (В ЗОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ НАПОРНО-СТАЦИОНАРНОГО УЗЛА)

Днестровская ГАЭС, как и большинство ГЭС, построена в сложных структурно-тектонических и инженерно-геологических условиях. На состояние сооружений, расположенных на крутом склоне, влияют техногенные (сотрясения территории при сбросе воды) и природные (большое количество осадков способствует интенсификации оползневых процессов) факторы. Для контроля за состоянием безопасности системы "грунт–сооружение" начат сейсмоакустический мониторинг.

Приведены результаты сейсмоакустических исследований, выполненных в сети стационарных скважин на Днестровском склоне. Получены исходные характеристики скорости распространения упругих волн в породах геологического разреза территории исследований. Результаты измерений 2016 года служат как базовые для сравнения с результатами измерений последующих лет с целью выявления возможных изменений в состоянии грунтов и, в случае необходимости, выполнения мероприятий для укрепления склона.

Ключевые слова: грунт, гидротехническое сооружение, мониторинг, сейсмоакустические исследования, межскважинное сейсмическое прозвучивание, сейсмическая томография.

УДК 550.34.

Д. Малицький¹, д-р фіз.-мат. наук, проф., А. Муровська², канд. геол. наук,
О. Обідина¹, асп., А. Гнип¹, канд. фіз.-мат. наук,
О. Грицай¹, канд. фіз.-мат. наук, А. Павлова¹, канд. фіз.-мат. наук, А. Пугач³, асп.
¹Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України
вул. Наукова, 3, б, м. Львів, 79060, Україна
²Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України
пр. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна
³Донецький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛІВ НАПРУЖЕНЬ У ЗЕМНІЙ КОРИ ЗА МЕХАНІЗМАМИ ВОГНИЩ МІСЦЕВИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ У ЗАКАРПАТТІ

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

У роботі вперше визначено 20 механізмів вогнищ місцевих землетрусів у Закарпатті, що становить дуже важливу передумову для подальших геодинамічних побудов. Фокальні механізми землетрусів за період з 2012 р. по 2015 р. визначалися за допомогою графічного методу. Крім того, з літературних джерел використано параметри механізму вогнища землетрусу, що відбувся 23.10.06 поблизу м. Берегове (магнітуда MSH 3,7). У результаті загального статистичного аналізу 21 механізму виявлено їхні основні типи та риси, характерні для напружено-деформованого стану всього регіону. Залежно від орієнтації кінематичних осей фокальні механізми поділено на три групи, що відповідають насувному, зсувному та скидовому типам. Для розглянутих землетрусів найбільш характерні механізми зсувного та насувного типів, причому майже в усіх зсувних механізмах наявна і насувна компонента переміщення. Для визначення поля напружень за механізмами вогнищ землетрусів у Закарпатті використовувалися два методи. Перший – метод визначення тензора напружень за фокальними механізмами, запропонований Майклом у 1984 р. і модифікований в роботах Ваєричука, другий – т. зв. метод РТ-осей. У цих методах, як правило, припускають, що 1) тектонічні напруження однакові (однорідні) у досліджуваному регіоні; 2) землетруси відбуваються на існуючих розломах з різною орієнтацією; 3) вектор зсуву на розриві спрямований в напрямку дотичного напруження на розриві (т. зв. гіпотеза Волеса – Бота). Обчислення поля напружень методом РТ-осей здійснюється з використанням програми WIN-TENSOR. Наведені результати свідчать про переважання режиму стиску в межах досліджуваної території. У полі стиску пд.-зх. 230° – 250° , що переважає в межах території, виділено дві аномальні зони: перша розташована в пд.-сх. частині Чоп-Мукачівської западини, стиск у межах якої характеризується двома напрямками; друга аномальна зона – у східній частині Солотвинської западини – відзначається умовами розтягу в пд.-зх. 220° напрямку, тоді як для переважної частини Закарпатського прогину (ЗП) у цьому напрямку характерний стиск. Найбільш активними в сучасному сейсмотектонічному процесі є розриви карпатського простягання, про що свідчить аналіз орієнтації 42 нодальних площин. Ще одна особливість вивчених вогнищ полягає в тому, що в межах тієї самої території відбуваються землетруси протилежних типів (напр., насувного та скидового), що досить логічно з урахуванням того, що в тилловій зоні насувів формуються умови розтягу в тому самому напрямку, що й стиснення в їхній фронтальній частині.

Ключові слова: вогнище землетрусу, механізм вогнища, нодальні площини, поле напружень, головні напруження, метод РТ-осей, метод Майкла, програма WIN-TENSOR, типізація механізмів.

Вступ. Тектонофізичній та геодинамічній інтерпретації механізмів вогнищ землетрусів на основі відновлення сучасного напружено-деформованого стану сейсмогенного середовища в сейсмоактивних регіонах в українській геофізиці присвячено чимало праць. Відновлення напружено-деформованого стану може здійснюватись як лише з використанням фокальних механізмів землетрусів (як, напр., у зоні Загросу [21] та зоні Вранча [5]), так і на базі комплексної інтерпретації польових тектонофізичних і сейсмологічних даних (зокрема, у Південнокримській сейсмогенній зоні [7], Солотвинській западині [12] та зоні Пеннінських скель [9]).

Прив'язка механізмів до тектонічних структур та аналіз орієнтації нодальних площин, які відповідають площинам розривів, дозволяють аналізувати локалізацію та динаміку сейсмотектонічного процесу, як, наприклад, у зоні Загросу [21].

На сьогодні, на жаль, майже відсутні наукові праці, присвячені визначенню поля напружень через механізми вогнищ землетрусів у сейсмоактивному регіоні українського Закарпаття. Це пов'язано з тим, що механізми землетрусів на території Закарпаття досі у великій кількості практично не визначали, тоді як на основі масового визначення механізмів землетрусів на прилеглих територіях Угорщини, Словаччини та Румунії здійснено реконструкцію сучасного поля напружень та його геодинамічну інтерпретацію [1–3, 8, 10, 13]. У даній роботі вперше визначено 20 вогнищ місцевих землетрусів у межах Закарпаття і прилеглої частини Українських Карпат і здійснено спробу їхньої тектонофізичної інтерпретації.

Закарпаття є територією з найвищим рівнем сейсмічної активності в межах Карпатського регіону України. Найбільш відчутні землетруси тут відбувалися в районі Сваляви (1908, 1924, 1935), Тересви (1926), Довгого

(1910), Хуста (1910), Берегова (1931) та ін. Інструментальні дослідження сейсмічної активності в Карпатському регіоні започатковано ще наприкінці XIX ст. [19]. Щороку в Закарпатті відбуваються десятки відносно слабких землетрусів, гіпоцентри яких розташовані переважно у верхніх шарах земної кори на глибинах від 2 до 10 км. Максимальна інтенсивність сейсмічних подій тут сягає 7 балів за шкалою МСК-64, що відповідає енергетичному класу $K = 12$ – 13 за шкалою Раутіан [19]. За особливостями сейсмічного режиму (кількість та інтенсивність подій, глибина залягання та просторове групування гіпоцентрів) Закарпаття та прилеглі до нього території поділено на три зони: А, В і С [14]. До зони А, що охоплює захід Закарпаття, належать передгір'я Карпат з прилеглою частиною Закарпатського прогину і Чоп-Мукачівською западиною (тектонічна карта Українських Карпат за ред. В. В. Глушка та С. С. Круглова, 1986), до зони В на сході – передгір'я з прилеглою частиною прогину і Солотвинською западиною. Приблизно по 40 % із загальної кількості місцевих землетрусів припадає на зони А і В, решта 20 % – на зону С (північ Румунії).

Визначення сучасного напруженого стану земної кори на основі даних про механізми вогнищ землетрусів є важливим завданням, яке намагалися розв'язати раніше і яке досі перебуває в полі наукових інтересів багатьох дослідників [1–3, 8, 10, 13]. У своїх роботах вони зазвичай виходили з того, що орієнтація головних осей напружень збігається з орієнтацією осей стиску (P) і розтягу (T) у фокальних механізмах. Ще в середині минулого століття це припущення активно обговорювалося як механіками (Костров, 1975) [10], так і сейсмологами (Кейліс-Борок, 1950; Введенська, 1956, 1961) [2–3, 8]. Зокрема, Б. В. Костров довів, що такий підхід заздалеку

гідь передбачає збіг зсувного розриву з площиною максимальних дотичних напружень. Теорія максимальних дотичних напружень придатна для металів, де розрив дійсно відбувається в зонах їхніх максимальних значень. Критичний же стан гірських порід визначається не лише рівнем зсувних напружень, але й напружень нормальних, які створюють сили тертя на площині розриву [16]. У середині 70-х рр. минулого століття і пізніше з'являються роботи, в яких закладено всі основні положення сучасних підходів до вивчення природних напружень і сейсмотектонічних деформацій. Основне положення відповідає гіпотезі Волеса і Бота [16, 34], яка полягає в тому, що вектор зсуву на розриві спрямований в напрямку дотичного напруження на ньому. Сьогодні напрямком, в якому орієнтацію головних осей напружень ідентифікують з осями P і T механізмів вогнищ окремих землетрусів або із сукупностями таких осей, найпоширеніший. Початки цього підходу закладено в роботах М. Л. Зобак [35]. Пізніше з'являються праці, в яких автори визначають головні осі напружень, використовуючи осі P і T окремих механізмів вогнищ різного діапазону магнітуд [17]. Результуючі напруження

отримують шляхом усереднення з подальшою інтерполяцією фокальних механізмів з осями, які ототожнено як головні осі визначених головних напружень.

У запропонованій роботі, за допомогою графічного методу визначено механізми вогнищ 20 слабких землетрусів у різних частинах сейсмоактивного регіону Закарпаття. З їхнім використанням і з урахуванням раніше визначених механізмів місцевих землетрусів [12, 15] знайдено поля напружень як для окремих компактних просторових груп подій, так і для всієї української частини Закарпатського прогину. З цією метою використовувалися два незалежні методи: 1) метод PT -осей [18, 28] та 2) метод Майкла в модифікації Вавричука [33]. Здійснено порівняльний аналіз отриманих результатів і складено тектонічну схему з розподілом напружень у межах досліджуваного регіону.

1. Тектонічна будова Закарпатського прогину та механізми вогнищ місцевих землетрусів

Географічно Закарпатський прогин (ЗП) – це рівнина південно-західної окраїни Українських Карпат, яка на південному заході переходить у Велику Угорську (рис. 1).

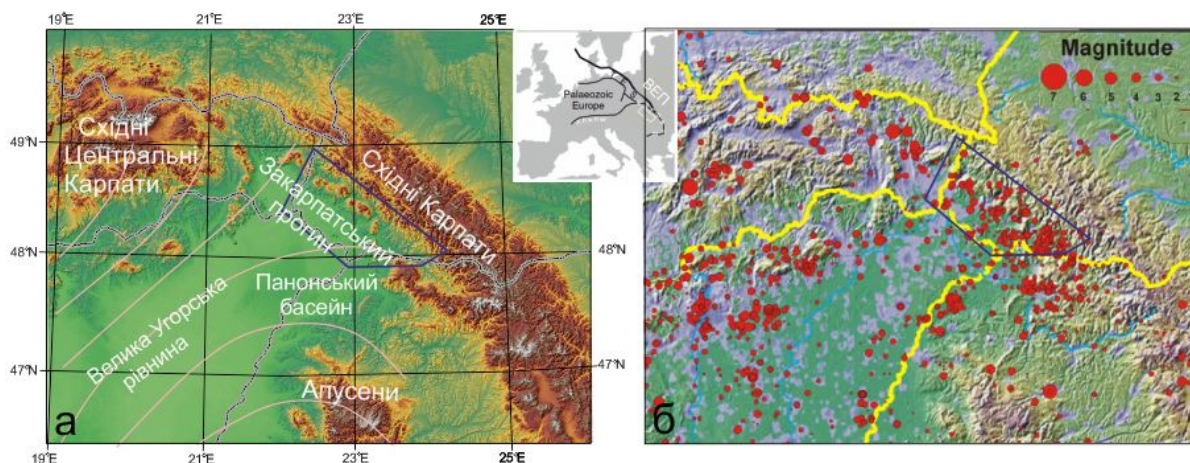


Рис. 1. Географічне розташування (а) та сейсмічність (б) Закарпатського прогину. Лінії на рисунку (а) відповідають траєкторіям максимальних горизонтальних напружень [32]

На північному сході ЗП контактує з Пеннінською зоною, що відокремлює ЗП від Зовнішніх Карпат (рис. 2). Орографічно у складі ЗП виділяються три відносно відокремлені западини: Східнословачька, Чоп-Мукачівська (ЧМЗ) та Солотвинська (СЗ). ЧМЗ та переважна частина СЗ розташовані в межах України і відокремлені субмеридіональною гілкою Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма. На заході Східнословачька западина контактує із центральними масивами Західних Карпат, а на сході, у Румунії, СЗ продовжується басейном Марамуреш. На півдні ЗП переходить у Паннонський басейн, який географічно відповідає Великій Угорській рівнині.

У тектонічному плані ЗП є неогеновою депресією, закладеною на гетерогенному фундаменті Внутрішніх Карпат [20]. ЗП заповнений моласовими відкладами міоцену-голоцену, представленими глинистими та піщано-глинистими породами (товщиною до 3 км), до складу яких входять туфогенні та соленосні товщі [4]. Моласові відклади ЗП формувались у результаті підняття та ерозії Карпатських гір у міоцені-пліоцені. ЗП характеризується як поздовжньою, так і поперечною зональністю, що відображається існуванням поздовжньої та поперечної системи розломів в його межах (рис. 2). Моласові відклади ЗП формують пологі складчастість. Куполоподібні складки пов'язані із соляними діпірами, що можуть мати істотні розміри (напр., Залузька складка, що досягає розміру 20 x 15 км). Дуже поширені також складки, пов'язані

з похованими стратовулканами. Проте соляні діпіри, поховані вулкани та дайкові поля простежуються вздовж прямолінійних зон, які, мабуть, відповідають розломам як осадового чохла, так і фундаменту [4, 20].

У даній роботі головні осі напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 визначаються за механізмами вогнищ 21 землетрусу (рис. 2), 20 з яких (з магнітудами MSH від 1,0 до 3,7) відбулися в Закарпатті за період з 01.06.12 по 06.08.15. Механізми вогнищ визначали за допомогою графічного методу [11, 27]. Параметри механізму вогнища 21-го землетрусу (подія 49 в табл. 1), який стався 23.10.06 поблизу м. Берегове (магнітуда MSH 3,7), узяті з роботи [15]. Варто відзначити, що Закарпатський регіон характеризується відносно невисоким рівнем сейсмічної активності – основна кількість місцевих землетрусів невеликої сили. Це до останнього часу було основною причиною труднощів з визначенням їхніх механізмів традиційними методами, і як наслідок – браку дуже важливого сейсмологічного сегмента даних, необхідних для повноцінного геодинамічного вивчення Українських Карпат. Вхідними даними графічного методу є знаки вступів P -хвиль, кути виходу (або кути падіння) P -хвиль для кожної зі станцій та азимути станцій. Зауважмо, що важливою додатковою інформацією за умови малої кількості станцій є дані про неточні знаки вступів P -хвиль, урахування яких у нашій роботі дозволило зменшити ступінь невизначеності нодальних ліній на фокальній сфері.

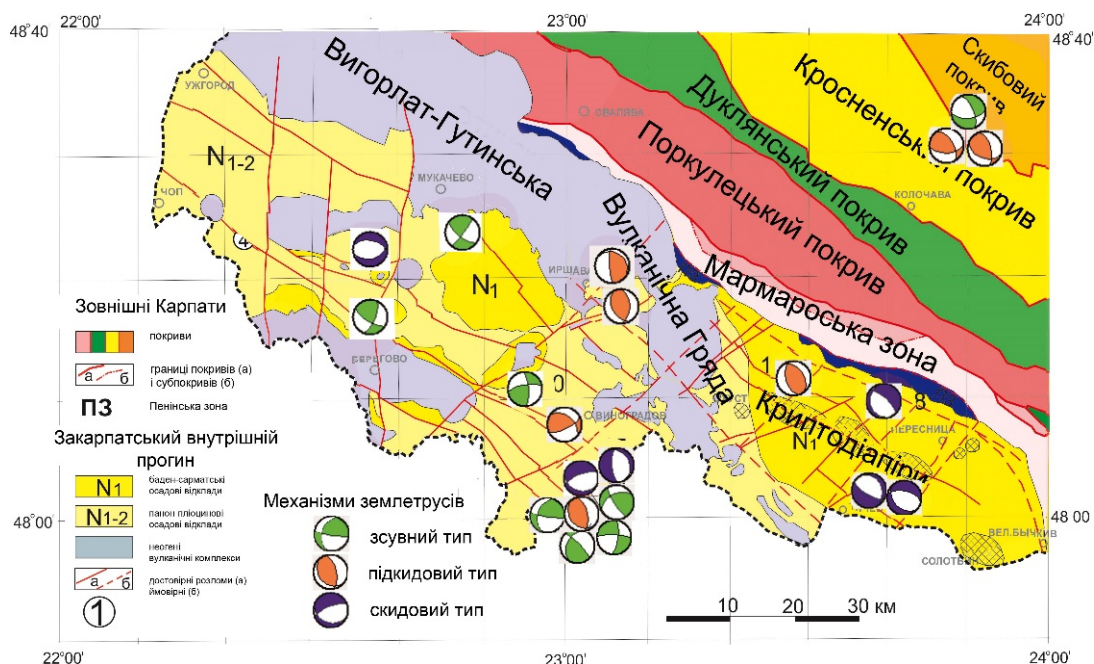


Рис. 2. Тектонічна схема Закарпатського прогину масштабу 1:500 000 (за ДНВП "ГЕОІНФОРМ УКРАЇНИ") і механізми вогнищ 21 землетрусу. Розломи позначені цифрами в кружках: 1 – Гажинсько-Мукачівський; 2 – Стретава – Геївці; 3 – Ремітський; 4 – Іванівський

На рис. 2 наведено тектонічну схему ЗП, складену шляхом об'єднання та спрощення тектонічних схем двох листів державної геологічної карти масштабу 1:500 000, з винесеними на неї епіцентрами та механізмами вогнищ землетрусів. Це дозволило пов'язати сейсмічні події з конкретними розломами та проаналізувати їхню сучасну кінематику. У роботі здійснено групування механізмів вогнищ 21 події в кластери (рис. 3) на основі компактного геогра-

фічного розташування епіцентрів землетрусів і з урахуванням подібності їхніх механізмів. Наприклад, механізм 16 включено до групи Іршавських землетрусів за ознакою кінематичної подібності, незважаючи на те, що він розташований на певній відстані від вогнищ 8 та 9. Механізми 10, 11 і 15 об'єднані в окрему групу "Виноградів" тому, що їхні епіцентри локалізовані в зоні одного розлому, а кінематичні P -осі мають майже однакову орієнтацію.

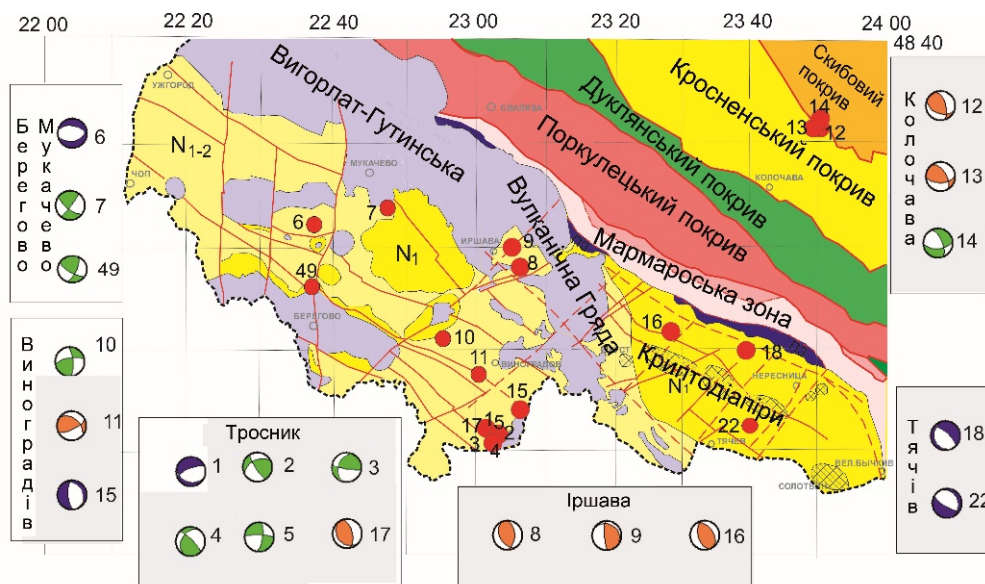


Рис. 3. Групування механізмів вогнищ у кластери за ознакою компактності їхнього географічного розташування для подальшого обчислення поля напружень окремо для кожної групи

2. Методика та вхідні дані для визначення поля напружень за фокальними механізмами

На сьогодні існує декілька методів для визначення поля напружень через фокальні механізми [6, 31]. Характерні спільні особливості й припущення, а також відмінності між ними аналізуються в роботах [33] і [24] з модифікаціями і розширенням їхнього використання [25, 29, 30, 31]

та ін. У цих методах, як правило, припускають, що 1) тектонічні напруження в досліджуваному регіоні однакові (однорідні); 2) землетруси відбуваються на існуючих розломах з різною орієнтацією; 3) вектор зсуву на розриві спрямований в напрямку дотичного напруження на ньому (т. зв. гіпотеза Волеса – Бота) [26, 34]. Якщо зазначені

припущення дійсні, то метод Майкла зводиться до розв'язування оберненої задачі, у результаті чого отримуються напрямки головних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 , і четвертий параметр R – співвідношення їхніх абсолютних значень.

У роботі використано два методи визначення поля напружень за фокальними механізмами. Перший – метод визначення тензора напружень, запропонований Майклом у 1984 р. [23] і модифікований в роботі Вавричука [33]. Другий – метод PT -осей, реалізований в програмі Win-Tensor [28]. У представлений роботі проведено

типізацію механізмів землетрусів за критерієм Андерсона, аналогічну типізації в роботі [7], а також статистичний аналіз орієнтувань 42 нодальних площин та 42 векторів зсувів (рис. 4).

Вхідними даними в методі PT -осей є координати осей стиску P та розтягу T , а в методі Майкла – кути ϕ , δ і λ нодальних площин кожної події. У табл. 1 наведено дані щодо землетрусів, використаних у роботі: координати епіцентру, час у вогнищі, магнітуду та глибину вогнища, а також кути нодальних площин (ϕ – простягання, δ – падіння і λ – між напрямком зсуву на розриві й простяганням) та осей стиску P та розтягу T .

Таблиця 1. Параметри механізмів вогнищ землетрусів

№	Район епіцентру. Координати	Дата Час	ML	h, км	ϕ , °	δ , °	λ , °	P		T	
								Az, °	Pl, °	Az, °	Pl, °
1	Тросник (48.04, 23.02)	6.02.2015 2:11:39.4	1,8	15,1	115 245	27 71	-44 -110	128	59	351	24
2	Тросник (48.03, 23.05)	13.01.2015 9:05:12.3	1,8	8,9	243 144	50 80	13 139	200	19	96	35
3	Тросник (48.01, 23.04)	26.11.2014 10:49:52.4	2,4	13,0	198 99	42 82	11 131	158	26	46	38
4	Тросник (48.00, 23.04)	15.11.2014 3:15:7.4	2,5	9,8	315 211	80 37	54 163	73	26	190	43
5	Тросник (48.03, 23.04)	15.11.2014 2:42:24.8	2,5	13,9	8 273	71 77	-167 -19	230	22	322	5
6	Мукачеве (48.37, 22.59)	14.06.2015 11:43:41.6	1,8	5,0	280 77	47 45	-74 -106	265	78	359	1
7	Мукачеве (48.39, 22.8)	7.06.2014 19:41:14.6	2,3	5,6	129 37	68 86	4 157	85	13	351	18
8	Іршава (48.30, 23.09)	31.10.2014 16:03:32.4	1,6	10,1	360 152	48 45	109 70	77	1	341	76
9	Іршава (48.33, 23.07)	5.08.2013 00:34:45.2	1,5	6,9	301 176	23 76	37 108	251	29	109	55
10	Виноградів (48.18, 22.92)	17.12.2015 10:50:27.0	1,6	2,0	356 259	73 69	21 61	127	2	218	27
11	Виноградів (48.12, 23.0)	8.01.2012 4:03:7.6	1,7	5,6	63 310	67 47	47 148	182	12	286	49
12	Колочава (48.53, 23.84)	1.06.2012 4:34:10.5	1,6	5,7	110 345	44 61	44 124	51	10	305	58
13	Колочава (48.53, 23.83)	1.06.2012 6:30:50.6	1,5	5,7	87 324	53 56	43 134	28	2	295	54
14	Колочава (48.54, 23.84)	10.01.2012 12:12:55.6	1,9	5,8	84 335	57 64	-149 -37	297	44	31	5
15	Королево (48.06, 23.1)	13.02.2013 6:19:35.5	1,8	9,3	176 328	68 24	-79 -115	105	65	258	22
16	Нижнє Селище (48.20, 23.46)	4.04.2013 21:15:14.5	1,9	1,7	325 165	39 52	74 102	246	7	122	78
17	Тросник (48.03, 23.04)	13.07.2013 12:18:18	1,6	13,8	347 138	63 30	104 64	67	17	285	69
18	Угľa (48.16, 23.65)	24.10.2012 3:13:40.5	1,6	4,5	311 161	71 21	-101 -61	204	62	50	25
19	Тячів (48.08, 23.61)	13.07.2015 16:40:18.0	1,7	4,3	134 284	37 56	-66 -107	151	72	27	10
20	Тячів (48.04, 23.67)	19.07.2015 11:30:47.4	3,7	7,7	333 118	24 69	-58 -103	8	65	219	24
21	Берегове (48.23, 22.62)	23.11.2006 7:15:20.3	3,7	9	122 22	67 67	25 155	252	1	342	34

3. Типізація механізмів вогнищ землетрусів Закарпаття

Проведено загальний статистичний аналіз усіх фокальних механізмів та їхню типізацію, що дозволило виявити риси, характерні для напружено-деформованого стану всього регіону (рис. 4).

Залежно від орієнтації кінематичних осей фокальні механізми поділили на три групи, які відповідають насувному, зсувному та скидовому типам і зафарбовано оранжевим, зеленим і синім кольором відповідно (рис. 4). Типізацію здійснено за методом Андерсона [22], який до-

вів, що для верхньої частини земної кори одне з головних напружень практично вертикальне, а решта два – горизонтальні. Формально типи визначали за найбільш стрімкою кінематичною віссю. Якщо субвертикальним спрямуванням характеризуються осі розтягу T – маємо насувний тип, якщо близькою до субвертикальної є нормальна вісь N – маємо зсувний тип, для скидового ж типу субвертикальною є вісь P . Віднесення реального механізму до насувного, зсувного і скидового типів залишається правомірним при відхиленні відповідних кінематичних осей від вертикалі на кут не більш 45°.

Для досліджуваних землетрусів найбільш характерними виявилися механізми зсувного та насувного типів (рис. 4), причому майже в усіх зсувних механізмах наявна, крім зсувної, і насувна компонента переміщення. Наведені результати свідчать про переважання режиму стиску в межах досліджуваної території.

Найактивнішими в сучасному сейсмотектонічному процесі є розриви карпатського простягання, про що свідчить аналіз орієнтації 42 нодальних площин, наведений на рис. 4. Характер домінуючих переміщень – насуво-зсуви, що ілюструється статистичним аналізом векторів переміщень. Присутні як ліві, так і праві, насуво-зсуви по нодальних площинах, що мають карпатський напрямок. Таким чином, завдяки насувним компонентам переміщення відбувається горизонтальне скорочення Закарпатського прогину та Зовнішніх Карпат у пн.-сх. напрямку, а право- та лівозсувні компоненти переміщення компенсують одна одну.

4. Визначення регіонального та локальних полів напружень за фокальними механізмами

Для окремих груп механізмів було визначено поля напружень, які відповідають локальним особливостям напруженого стану, а також проаналізовано, де це було можливо, зв'язок окремих механізмів із зонами розломів та їхню сучасну кінематику. Поля напружень визначалися двома незалежними методами (методом Майкла та методом *PT*-осей) і порівнювалися між собою.

Для двох груп землетрусів, які названо "Тросник" та "Виноградів" (рис. 5), характерні досить різноманітні фокальні механізми, що відрізняються між собою орієнтуванням кінематичних осей. Більшість із них є насуво-зсувами і, відповідно, мають дві компоненти переміщення – горизонтальну (зсувну) та вертикальну (насувну). Для зазначених областей, де перетинаються розриви пн.-зх. та пн.-

сх. простягання було відновлено два поля напружень, що відповідають стиску в пд.-сх. 150° та пд.-зх. 200° напрямках (рис. 5). Поля напружень за методом Майкла та *PT*-методом давали збіжні результати для групи "Тросник" і практично однакові результати для групи "Виноградів".

Група механізмів "Берегове – Мукачеве" представлена трьома землетрусами (рис. 5). Берегівський землетрус (№ 49, табл. 1) з механізмом зсувного типу потрапляє в зону розломів пн.-зх. простягання, що збігається зі смугою виходів вулканітів і підняття фундаменту. Одна з нодальних площин механізму № 49 збігається з напрямком Іванівського розлому (рис. 2, № 4). У роботі Пустовітенко [15] ця зона належить до імовірного Припаннонського глибинного розлому. Механізм зсувного типу № 7 такий самий, як і механізм № 49 і пов'язаний з Гажинсько-Мукачівським розломом (№ 1 на рис. 2), паралельним Іванівському розлому. Одна з нодальних площин механізму № 7 збігається за напрямком із цим розломом. Механізм скидового типу № 6 (рис. 4) потрапляє на невеликий за довжиною субширотний розлом, що є продовженням Ремітського розлому № 3. Поле напружень для групи "Берегове – Мукачеве", визначене за методом *PT*-осей, належить до зсувного типу з пд.-зх. 250° субгоризонтальною віссю стиску та субгоризонтальною віссю розтягу. Переміщення в такому полі напруження вздовж розломів пд.-зх. простягання визначається як лівий зсув. Поле напружень для групи механізмів "Берегове – Мукачеве" за методом Майкла (рис. 5) належить до скидового типу, проте вісь розтягу орієнтована так само, як і в полі, отриманому методом *PT*-осей. Результати розрахунку поля напружень за двома представленими методами дещо відрізняються з огляду на малу кількість використаних механізмів.

Типізація механізмів 21 землетрусу

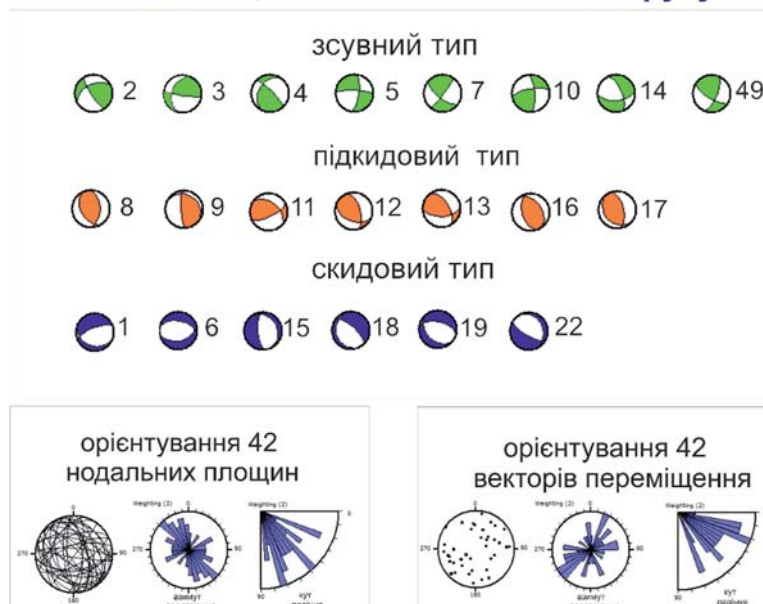


Рис. 4. Типізація фокальних механізмів землетрусів за методом Андерсона та статистичний аналіз орієнтувань нодальних площин і векторів переміщення

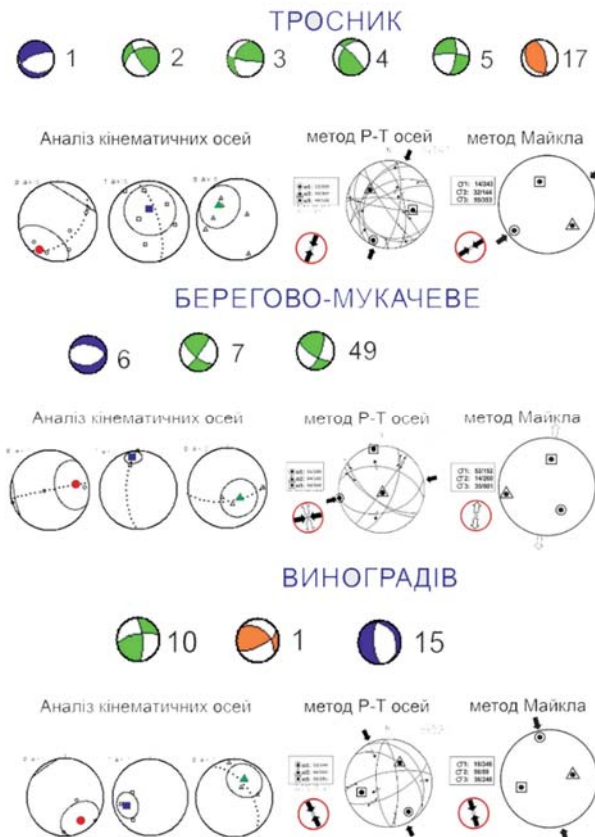


Рис. 5. Визначення поля напружень для груп фокальних механізмів: "Тросник", "Берегове – Мукачеве" та "Виноградів" (відповідно до рис. 3)

Фокальні механізми № 8, 9 та 16 групи "Іршава" майже ідентичні й мають насувний тип. Поля напружень, визначені двома методами, однакові (рис. 6). Орієнтація осі стиску визначеного для них поля напружень на рис. 6, збігається з віссю стиску, визначеною за механізмами зони

"Берегове – Мукачеве" (рис. 5). Зважаючи на цей факт, механізми № 8, 9 та 16 віднесено до розломів пн.-зх. 310° простягання, з яким вони просторово пов'язані.

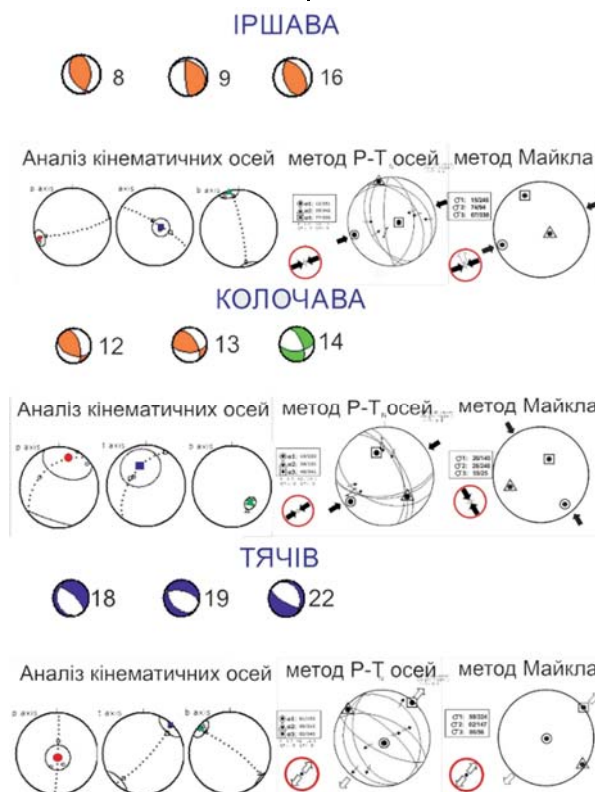


Рис. 6. Визначення поля напружень для груп фокальних механізмів "Іршава", "Колочава" і "Тячів" (відповідно до рис. 3)

Механізми № 12, 13 та 14 групи "Колочава" потрапляють до зони контакту Скибового та Кросненського покривів Зовнішніх Карпат (рис. 2) і відповідають полю стиску пд.-зх. напрямку (рис. 6), характерного для переважної частини території ЗП (рис. 8). Звідси можна зробити припущення, що українські Зовнішні Карпати та Закарпатський прогин характеризуються аналогічним сучасним режимом стиску в пд.-зх. 230° – 250° напрямку.

До групи "Тячів" віднесено три фокальні механізми землетрусів № 18, 19 і 22, у межах Солотвинської западини. За даними сейсмологічних спостережень поблизу епіцентру землетрусу № 22 протягом 19.07.15 – 06.08.15 зареєстровано ще більше сотні слабших повторних сейсмічних подій з майже однаковими механізмами скидового типу. У

роботі [12] поле напружень Солотвинської западини визначали за механізмами тячівської групи землетрусів і польовими тектонофізичними дослідженнями. Вогнище землетрусу № 18 з механізмом скидового типу розташовано на певній відстані від епіцентральної зони тячівської серії, але за кінематикою дуже схоже на неї. Це дозволило об'єднати групу механізмів "Тячів" і механізми тячівської серії повторних землетрусів у Солотвинській западині (СЗ) і зробити висновок, що східна частина Солотвинської западини характеризується умовами пд.-зх. розтягу. Відзначимо, що визначення поля напружень для групи "Тячів" як за методом Майкла, так і за методом *PT*-осей давало однакові результати (рис. 6).

Усі поля напружень, визначені методом *PT*-осей для окремих груп, винесено на тектонічну схему (рис. 7).

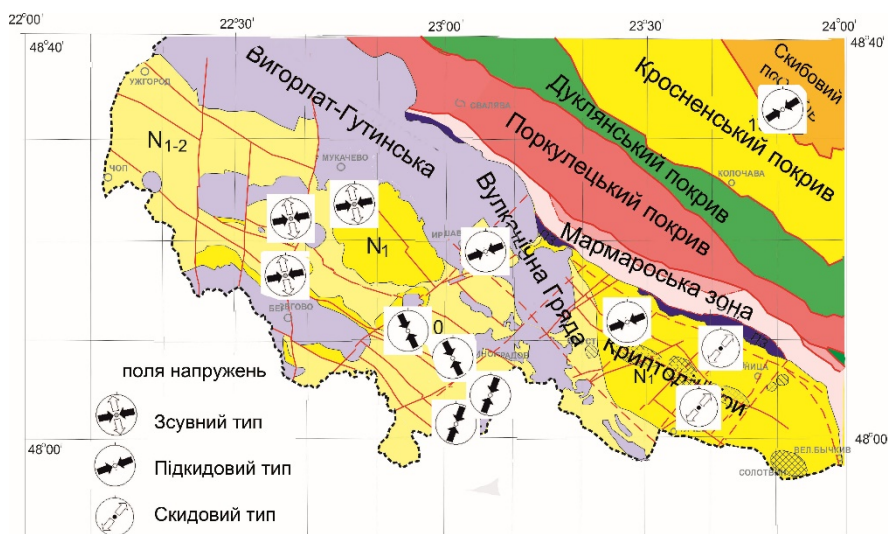


Рис. 7. Орієнтація і типи полів напружень у межах Закарпатського прогину, визначені для окремих груп вогнищ землетрусів (розташування вогнищ і груп показано на рис. 3)

Також з використанням зазначених двох методів визначено загальне поле напружень для всіх розглянутих землетрусів (21), що відповідає регіональному полю напружень (рис. 8). Це поле належить до насупного типу з пд.-зх. 230° – 260° орієнтацією субгоризонтальної осі стиску. Відповідно до просторового розподілу напружень (рис. 7) у межах ЗП виділяються дві аномальні зони: перша – у пд.-сх. частині Чоп-Мукачівської западини, стиск у межах якої характеризується двома напрямками; друга

– у східній частині Солотвинської западини – відзначається умовами розтягу в пд.-зх. 220° напрямку, тоді як для переважної частини ЗП майже в тому самому напрямку (230° – 250°) характерний стиск. Цей цікавий, що до напрямку розтягу в західній частині Солотвинської западини, результат не заперечує ідеї зміни орієнтації траєкторії стиску з пд.-зх. на пд.-сх. поблизу південної границі Закарпатського прогину (рис. 1) [8].

Визначення загального поля напружень для 21 механізму

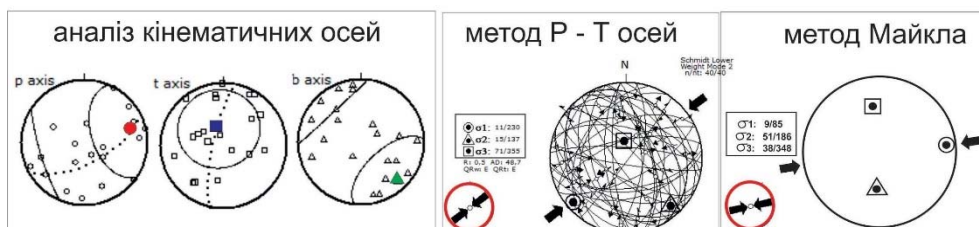


Рис. 8. Визначення регіонального поля напружень у ЗП за методом *PT*-осей (з використанням програми WIN-TENSOR) [28] та методом Майкла

Висновки. 1. У результаті загального статистичного аналізу 21 фокального механізму вогнищ закарпатських землетрусів виявлено їхні основні типи та риси, характерні для напружено-деформованого стану всього регіону.

Залежно від орієнтації кінематичних осей фокальні механізми поділено на три групи, що відповідають насупному, зсувному та скидовому типам (рис. 4).

2. Для розглянутих землетрусів найбільш характерні механізми зсувного та насупного типів, причому, майже

в усіх зсувних механізмах наявна і насувна компонента переміщення. Отримані результати свідчать про переважання режиму стиску в межах досліджуваної території.

3. Найбільш активними в сучасному сейсмотектонічному процесі є розриви карпатського простягання, про що свідчить аналіз орієнтації 42 нодальних площин, наведених на рис. 4.

4. Статистичний аналіз векторів переміщень свідчить про найбільшу поширеність насув-зсувів із переважанням зсувної компоненти. Наявні як ліві, так і праві насуво-зсуви вздовж нодальних площин карпатського напрямку. Таким чином, завдяки насувним компонентам переміщень відбувається горизонтальне скорочення Закарпатського прогину та Зовнішніх Карпат в пн.-сх. напрямку, а право- та лівозсувні компоненти переміщень компенсують одна одну.

5. У полі стиску пд.-зх. 250° – 230° , що переважає на досліджуваній території, виявлено дві аномальні зони: перша – у пд.-сх. частині Чоп-Мукачівської западини, стиск у межах якої характеризується двома напрямками – пд.-зх. 200° та пд.-сх. 150° ; друга – у східній частині Солотвинської западини – відзначається умовами розтягу в пд.-зх. 220° напрямку.

6. Ще одна особливість вивчених вогнищ полягає в тому, що в межах тієї самої території відбуваються землетруси протилежних типів (напр., насувного та скидового), що, на нашу думку, досить логічно з урахуванням того, що в тилловій зоні насувів формуються умови розтягу в тому самому напрямку, що й стиснення в їхній фронтальній частині.

7. Результати визначення полів напружень двома незалежними методами (Майкла та *PT*-осей) схожі, а невеликі розбіжності пов'язані передусім з недостатньою кількістю механізмів у групах, а також із засадничою некоректністю відповідних обернених задач.

Список використаних джерел

1. Балакіна Л. М. Общие закономерности в направлениях главных напряжений, действующих в очагах землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса / Л. М. Балакіна // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1962. – № 1. – С. 1471–1483.
2. Введенская А. В. К дискуссии по поводу теоретической модели очага землетрясения / А. В. Введенская // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1961. – № 2. – С. 261–263.
3. Введенская А. В. Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокаций / А. В. Введенская // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1956. – № 3. – С. 123–127.
4. Геологическое строение и горючие ископаемые Украинских Карпат / под ред. В. В. Глушко, С. С. Круглова. – М.: Недра, 1971. – 389 с.
5. Глубинная сейсмогенная зона Вранча как индикатор геодинамического процесса / О. Б. Гинтов, А. В. Муровская, Т. П. Егорова и др. // Геофиз. журн. – 2015. – № 3(37). – С. 22–49.
6. Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений / О. И. Гущенко // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1979. – С. 7–25.
7. Деформационные структуры и поля напряжений юго-западного Крыма в контексте эволюции Западно-Черноморского бассейна / А. Муровская, Ж.-К. Ипполит, Е. Шеремет и др. // Геодинамика. – 2015. – № 1. – С. 10–29.
8. Кейлис-Борок В. И. Исследование источников, приближенно эквивалентных очагам землетрясений / В. И. Кейлис-Борок // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. – 1950. – № 9. – С. 23–47.
9. Кинематическая эволюция Зоны Пеннинских утесов в кайнозой (Украинские Карпаты) / А. Муровская, М. Накапелюх, Ю. Вихоть и др. // Геофиз. журн. – 2016. – № 5(38). – С. 119–136.
10. Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения / Б. В. Костров. – М.: Наука, 1975. – 176 с.
11. Малицкий Д. В. Визначення механізмів вогнищ землетрусів Карпатського регіону / Д. В. Малицкий, О. Д. Грицай, О. О. Муїла // Геофиз. журн. – 2014. – № 4(36). – С. 118–135.
12. Механізми вогнищ землетрусів та поле напружень Солотвинської западини Закарпаття / Д. В. Малицкий, А. В. Муровська, О. Б. Гинтов та ін. // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – № 77. – 2017. – С. 43–51.

13. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений / Л. М. Балакіна, А. В. Введенская, И. В. Голубева и др.. – М.: Наука, 1972. – 192 с.

14. Пронишин Р. С. Некоторые аспекты сейсмического "климата и погоды" в Закарпатье / Р. С. Пронишин, Б. Г. Пустовитенко // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1982. – № 10. – С. 74–81.

15. Пустовитенко А. А. Механизм очага Береговского землетрясения 23 ноября 2006 г. / А. А. Пустовитенко, Р. С. Пронишин // Геодинамика. – 2011. – Т. 2 (11). – С. 260–262.

16. Ребецкий Ю. Л. Современное поле напряжений Восточного Средиземноморья по данным о механизмах очагов коровых землетрясений / Ю. Л. Ребецкий, Е. С. Фурсова // Тектоника и Геодинамика: Общие и региональные аспекты: материалы совещ. – М., 1998. – Т. 2. – С. 107–109.

17. Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов / Ю. Л. Ребецкий. – М.: Академкнига, 2007. – 406 с.

18. Современные геодинамические процессы на Северной окраине Черного моря / В. С. Гобаренко, А. В. Муровская, Т. Е. Егорова, Е. Е. Шеремет // Геотектоника. – 2016. – Т. 4. – С. 68–87.

19. Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій / за ред. К. П. Третьяка, В. Ю. Максимчука, Р. І. Кутаса. – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 418 с.

20. Тектоника Украины / ред. С. С. Круглов, А. К. Цыпко. – М.: Недра, 1988. – 254 с.

21. Тектонофизическая интерпретация механизмов очагов землетрясений системы Загрос / О. Б. Гинтов, Ю. М. Вольфман, Е. Я. Колесникова, А. В. Муровская // Геодинамика и тектонофизика. – 2014. – № 5 (1). – С. 305–319.

22. Anderson E. M. The dynamics of faulting / E. Anderson. – Edinburgh: Oliver and Boyd, 1951. – 206 p.

23. Angelier J. Tectonic analysis of fault slip data sets / J. Angelier // J. Geophys. Res. – 1984. – № 8 (B7). – P. 5835–5848.

24. Angelier J. Inversion of earthquake focal mechanisms to obtain the seismotectonic stress IV – a new method free of choice among nodal lines / J. Angelier // Geophys. J. Int. – 2002. – Vol. 150. – P. 588–609.

25. Arnold R. A Bayesian approach to estimating tectonic stress from seismological data / R. Arnold, J. Townend // Geophys. J. Int. – 2007. – Vol. 170. – P. 1336–1356.

26. Bott M. H. P. The mechanics of oblique slip faulting / M. H. P. Bott // Geol. Mag. – 1959. – Vol. 96. – P. 109–117.

27. Determining the focal mechanism of an earthquake in the Transcarpathian region of Ukraine / D. Malytskyy, O. Muyla, A. Pavlova, O. Hrytsai // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2013. – № 4(63). – С. 38–44.

28. Devlaux D. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program / D. Devlaux, B. Sperner // New insights into Structural interpretation and Modelling. Geological Society. London: Special Publications. – 2003. – Vol. 212. – P. 75–100.

29. Hardebeck J. L. Damped regional-scale stress inversions: methodology and examples for southern California and Coalinga aftershock sequence / J. L. Hardebeck, A. J. Michael // J. geophys. Res. – 2006. – Vol. 111. – B11310. doi: 10.1029/2005JB004144.

30. Lund B. Stress tensor inversion using detailed microearthquake information and stability constraints: application to Olfus in southwest Iceland / B. Lund, R. Slunga // J. geophys. Res. – 1999. – Vol. 104. – P. 14947–14964.

31. Maury J. A review of methods for determining stress fields from earthquake focal mechanisms: application to the Sierentz 1980 seismic crisis (Upper Rhine graben) / J. Maury, F. H. Cornet, L. Dorbath // Bull. Soc. Geol. France. – 2013. – Vol. 184(4–5). – P. 319–334.

32. Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin / G. Bada, F. Horvath, P. D'ov'enyi, P. Szafi'an, G. Windhoffer, S. Cloetingh // Glob. Planet. Change. – 2007. – Vol. 58. – P. 165–180.

33. Vavrychuk V. Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms / V. Vavrychuk // Geophys. J. Int. – 2014. – Vol. 199. – P. 69–67.

34. Wallace R. E. Geometry of shearing stress and relation to faulting / R. E. Wallace // J. Geol. – 1951. – Vol. 59. – P. 118–130.

35. Zobak M. L. State of stress and modern deformation of the Northern Basib and Rang Province / M. L. Zobak // J. Geophys. Res. – 1989. – Vol. 94, № B6. – P. 7105–7128.

References

1. Balakina, L. M. (1962). Obschie zakonomernosti v napravleniyah glavnykh napryazheniy, deystvuyuschih v ochagah zemletryaseniy Tihookeanskogo seysmicheskogo poyasa. *Izv. AN SSSR. Ser. geofiz.*, 1, 1471–1483. [in Russian].
2. Vvedenskaya, A. V. (1961). K diskussii po povodu teoreticheskoy modeli ochaga zemletryaseniya. *Izv. AN SSSR. Ser. geofiz.*, 2, 261–263. [in Russian].
3. Vvedenskaya, A. V. (1956). Opredelenie poley smescheniy pri zemletryaseniyaх s pomoshchyu teorii dislokatsiy. *Izv. AN SSSR. Ser. geofiz.*, 3, 123–127. [in Russian].
4. Glushko, V. V., Kругlova, S. S. (Ed.). (1971). *Geologicheskoe stroenie i goryuchie iskopaemye Ukrainskih Karpat*. M.: Nedra, 389 p. [in Russian].

5. Gintov, O. B., Murovskaya, A. V., Egorova, T. P., Volfman, Yu. M., Tsvetkova, T. A., Bugaenko, I. V., Kolesnikova, E. E., Ostrovnoy, A. M., Bubnyak, I. N., Farfulyak, L. V., Amashukeli, T. A. (2015). Glubinnaya seysmogenennaya zona Vrancha kak indikator geodinamicheskogo protsessa. *Geofizicheskii zhurnal*, 3(37), 22–49. [in Russian].
6. Gushchenko, O. I. (1979). Metod kinematicheskogo analiza struktur razrusheniya pri rekonstruktsii polei tektonicheskikh napryazheniy. *Polya napryazheniy i deformatsiy v litosfere*. M.: Nauka, 1979, 7–25. [in Russian].
7. Murovskaya, A., Ippolit. ZH.-K., Sheremet, E., Egorova, T., Volfman, Yu., Kolesnikova, K. (2015). Deformatsionnye struktury i polya napryazheniy yugo-zapadnogo Kryma v kontekste evolyutsiy Zapadno-Chernomorskogo basseyana. *Geodinamika*, 1, s. 10–29. [in Russian].
8. Keylis-Borok, V. I. (1950). Issledovanie istochnikov, priblizhenno ekvivalentnykh ochagam zemletryaseniy. *Trudy Geofiz. In-ta. AN SSSR*. 9. 23–47. [in Russian].
9. Murovskaya, A., Nakapelyuh, M., Vihot, Yu., Shlapinskiy, E., Bubnyak, I. N., Mychak, S. V. (2016). Kinematicheskaya evolyutsiya Zony Penninskikh otsov v kaynozoe (Ukrainskie Karpaty). *Geofizicheskii zhurnal*, 5(38), 119–13. [in Russian].
10. Kostrov, B. V. (1975). *Mehanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya*. M.: Nauka, 176 p. [in Russian].
11. Malitskiy, D. V., Hrytsai, O. D., Muyla, O. O. (2014). Vyznachennya mehanizmlv vognisch zemletruslv Karpat'skogo regionu. *Geofizicheskii zhurnal*, 4(36), 118–135. [in Ukrainian].
12. Malitskiy, D.V., Murovska, A. V., Gintov, O. B., Gnip, A. R., Obldna, O. O., Michak, S. V., Hrytsai, O. D., Pavlova, A. Yu. (2017). *Mehanizmi vognisch zemletruslv ta pole napruzhen SolotvinskoYi zapadini Zakarpattya. Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 77, 43–51. [in Ukrainian].
13. Balakina, L. M., Vvedenskaya, A. V., Golubeva, I.V., Misharina, L. A., Shirokova, E. I. (1972). Pole uprugih napryazheniy Zemli i mehanizm ochagov zemletryaseniy. M.: Nauka, 192 p. [in Russian].
14. Pronyshyn, R. S., Pustovitenko, B. H. (1982). Nekotorye aspekty seysmicheskogo "klimata i pogody" v Zakarpatt'e. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*, 10, 74–81. [in Russian].
15. Pustovitenko, A. A., Pronishin, R. S. (2011). *Mehanizm ochaga Beregovskogo zemletryaseniya 23 noyabrya 2006 g. Geodinamika*, 2(11), 260–262. [in Russian].
16. Rebetskiy, Yu. L. (2007). Tektonicheskie napryazheniya i prochnost gornyykh massivov. M.: Akademkniga, 406 p. [in Russian].
17. Rebetskiy, Yu. L., Fursova, E. S. (1998). Sovremennoe pole napryazheniy Vostochnogo Sredizemnomorya po dannym o mehanizmah ochagov korovykh zemletryaseniy. *Materialy soveshaniya "Tektonika i Geodinamika: Obschie i regionalnye aspekty"*. M., 2, 107–109. [in Russian].
18. Gobarenko, V. S., Murovskaya, A. V., Egorova, T. E., Sheremet, E. E. (2016). Sovremennyye geodinamicheskie protsessy na Severnoy okraine Chernogo morya. *Geotektonika*, 4, 68–87. [in Russian].
19. Tretiak, K. P., Maksymchuk, V. Iu., Kutas R. I. (Ed.). (2015). *Suchasna heodynamika ta heofizichni polia Karpat i sumizhnykh terytorii*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 418 p. [in Ukrainian].
20. Kruglov, S. S., Tsytko, A.K. (Ed.). (1988). *Tektonika Ukrainy*. Moskva: Nedra, 254 p. [in Russian].
21. Gintov, O. B., Volfman, Yu. M., Kolesnikova, E. Ya., Murovskaya, A. V. (2014). Tektonofizicheskaya interpretatsiya mekhanizmov ochagov zemletryaseniy sistemy Zagros. *Geodinamika i tektonofizika*, 5 (1), 305–319. [in Russian].
22. Anderson, E. M. (1951). The dynamics of faulting. *Edinburg: Oliver and Boyd*, 206 p.
23. Angelier, J. (2002). Inversion of earthquake focal mechanisms to obtain the seismotectonic stress IV – a new method free of choice among nodal lines. *Geophys. J. Int.*, 150, 588–609.
24. Angelier, J. (1984). Tectonic analysis of fault slip data sets. *J. Geophys. Res.*, 8 (B7), 5835–5848.
25. Arnold, R., Townend, J. (2007). A Bayesian approach to estimating tectonic stress from seismological data. *Geophys. J. Int.*, 170, 1336–1356.
26. Bott, M.H.P. (1959). The mechanics of oblique slip faulting. *Geol. Mag*, 96, 109–117.
27. Malyskiy, D., Muyla, O., Pavlova, A., Hrytsai, O. (2013). Determining the focal mechanism of an earthquake in the Transcarpathian region of Ukraine. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(63), 38–44.
28. Devlaux, D., Sperner, B. (2003). New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. *New insights into Structural interpretation and Modelling*. Geological Society. London. Special Publications, 212, 75–100.
29. Hardebeck, J. L., Michael, A. J. (2006). Damped regional-scale stress inversions: methodology and examples for southern California and Coalinga aftershock sequence. *J. geophys. Res.*, 111, B11310. doi: 10.1029/2005JB004144.
30. Lund, B., Slunga, R. (1999). Stress tensor inversion using detailed microearthquake information and stability constraints: application to Olfus in southwest Iceland. *J. geophys. Res.*, 104, 14947–14964.
31. Maury, J., Cornet, F. H., Dorbath, L. (2013). A review of methods for determining stress fields from earthquake focal mechanisms: application to the Sierentz 1980 seismic crisis (Upper Rhine graben). *Bull. Soc. Geol. France*, 184(4–5), 319–334.
32. Bada, G., Horvath, F., D'ovenyi, P., Szaffian, P., Windhoffer, G., Cloetingh, S. (2007). Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. *Glob. Planet. Change*, 58, 165–180.
33. Vavrychuk, V. (2014). Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. *Geophys. J. Int.*, 199, 69–87.
34. Wallace, R. E. (1951). Geometry of shearing stress and relation to faulting. *J. Geol.*, 59, 118–130.
35. Zobak, M. L. (1989). State of stress and modern deformation of the Northern Basins and Rang Province. *J. Geophys. Res.*, 94, B6, 7105–7128.

Надійшла до редколегії 11.07.17

D. Malyskiy¹, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., A. Murovska², PhD (Geol.), O. Obidina¹, Postgraduate student, A. Gnyp¹, PhD (Phys.-Math.), O. Grytsai¹, PhD (Phys.-Math.), A. Pavlova¹, PhD (Phys.-Math.), A. Pugach³, Postgraduate student
¹Carpathian Branch of the Subbotin Institute of Geophysics NAS of Ukraine
 3-b Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine
²Subbotin Institute of Geophysics NAS of Ukraine
 32 Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine
³Donetsk National Technical University

DETERMINING THE STRESS FIELD IN EARTH'S CRUST FROM SOURCE MECHANISMS OF LOCAL EARTHQUAKES IN THE TRANSCARPATIANS

In the paper, 20 source mechanisms of local earthquakes in the Transcarpathians were determined for the first time, which is very important for further geodynamic modeling. Focal mechanisms of earthquakes for the period from 2012 to 2015 were determined using a graphic method. The parameters of source mechanism of 23.10.06 earthquake near the city of Berehove (magnitude MSH 3.7) were also taken from earlier publications. Subsequently, after a general statistical and typification analysis of 21 mechanisms the characteristics of stress-strained state were identified, prevalent in the entire region. Depended on orientation of cinematic axes, the focal mechanisms were separated into three groups corresponding to thrusting, normal faulting and strike-slip types. The majority of the studied mechanisms belonged to strike-slip and thrusting types, almost all strike-slip mechanisms containing a component of thrusting. Two methods were employed in our work to determine stress field from mechanisms of local earthquakes in the Transcarpathians. In the first one, suggested by Michael (1984) and further developed in works of Vavrychuk, stress tensor was determined from focal mechanisms. The other one was a so called method of PT-axes. It is usually assumed in both methods that: 1) tectonic stress is uniform (homogeneous) in the region, 2) earthquakes occur on pre-existing faults with varying orientations and 3) the slip vector points in the direction of shear stress on the fault (the so called Wallace-Bott hypothesis). To calculate the stress field by method of PT-axes program WIN-TENSOR was used. Results, presented in the paper, definitely indicate prevalence of contraction in the study region. In the contraction field SW 250, prevailing in almost entire study region, two anomalous zones were identified: the first one, extended along the SW boundary of Chop-Mukacheve depression, with two directions of contraction in it; the second one, in the eastern part of Solotvyno depression, with extension conditions in the SW direction, contraction prevailing at the same time in SW direction in the most part of the Transcarpathian through (TT). Analysis of 42 nodal plain orientations confirmed the most active role of ruptures parallel to the Carpathian extension in present seismotectonic process. Another distinction of the local sources consists in a fact that earthquakes of adverse types (thrusting and faulting, for instance) often occur in the same area, very close to each other, which can be considered logical since extension conditions arise in the rear zone of thrusts in the same direction as contraction in their frontal part.

Keywords: earthquake source, source mechanism, nodal planes, stress field, principal stresses, method of PT-axes, Michael's method, program WIN-TENSOR, typification of mechanisms.

Д. Малицкий¹, д-р физ.-мат. наук, проф., А. Муровская², канд. геол. наук, О. Обидина¹, асп.,
А. Гнып¹, канд. физ.-мат. наук, О. Грыцай¹, канд. физ.-мат. наук, А. Павлова¹, канд. физ.-мат. наук, А. Пугач³, асп.

¹Карпатское отделение Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины

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

²Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины

пр. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина

³Донецкий национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ПО МЕХАНИЗМАМ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ЗАКАРПАТЬЕ

Впервые определены 20 механизмов очагов местных землетрясений на Закарпатье, что является очень важной предпосылкой для дальнейших геодинамических построений. Фокальные механизмы землетрясений за период с 2012 г. по 2015 г. определялись с использованием графического метода. Кроме того, по литературным данным были определены параметры механизма очага землетрясения 23.10.06 в районе г. Берегово (магнитуда MSH 3,7). В результате общего статистического анализа 21 механизма определены их основные типы и черты, свойственные для напряженно-деформированного состояния всего региона. По ориентации кинематических осей фокальные механизмы разделены на три группы, соответствующие надвиговому, сдвиговому и сбросовому типам. Для рассмотренных землетрясений наиболее характерными являются механизмы сдвигового и надвигового типа, причем почти во всех сдвиговых механизмах присутствует и надвиговая компонента подвижки. Для определения поля напряжений по механизмам очагов землетрясений на Закарпатье использовались два метода. Первый – метод определения тензора напряжений по фокальным механизмам, предложенный Майклом в 1984 г. и модифицированный в работах Вавричука, второй – так называемый метод РТ-осей. В этих методах как правило предполагают, что 1) тектонические напряжения одинаковы (однородны) во всем исследуемом регионе; 2) землетрясения происходят на существующих разломах разной ориентации; 3) направление вектора подвижки по разрыву совпадает с направлением касательного напряжения на разрыве (так называемая гипотеза Уоллеса – Ботта). Расчет поля напряжений методом РТ-осей осуществлялся с использованием программы WIN-TENSOR. Приведенные результаты свидетельствуют о преобладании режима сжатия в границах исследуемой территории. В поле сжатия 230° – 250° ю.-зап., преобладающего в границах территории, выделены две аномальные зоны: первая находится в ю.-зап. части Чоп-Мукачевской впадины, сжатие в пределах которой характеризуется двумя направлениями; вторая аномальная зона – в восточной части Солотвинской впадины – характеризуется условиями растяжения в ю.-зап. направлении, тогда как в большей части Закарпатского прогиба (ЗП) в этом направлении преобладает сжатие. Наиболее активными в современном сейсмотектоническом процессе являются разрывы карпатского простирания, о чем свидетельствует анализ ориентации 42 нодальных плоскостей. Еще одна особенность исследуемых очагов состоит в том, что в пределах одной и той же территории происходят землетрясения противоположных типов (напр., надвигового и сбросового), что довольно логично с учетом того, что в тыловой зоне надвигов формируются условия растяжения в том же направлении, что и сжатие в их фронтальной части.

Ключевые слова: очаг землетрясения, механизм очага, нодальные плоскости, поле напряжений, главные напряжения, метод РТ-осей, метод Майкла, программа WIN-TENSOR, типизация механизмов.

УДК 550.832+634.12

І. Стахів, канд. геол. наук, інж.

E-mail: fatix@ukr.net,

І. Цюпа, інж. 1 кат.

E-mail: tsyupa@ukr.net,

К. Бондар, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: ks_bondar@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

А. Король, пров. хімік

E-mail: lzgcgo@meteo.gov.ua

Центральна геофізична обсерваторія

пр. Науки 39, корп. 2, м. Київ, 03028, Україна

МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ЯК ІНДИКАТОР ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВИКИДАМИ АВТОТРАНСПОРТУ В ОДЕСІ

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

Присвячено обґрунтуванню застосування магнітної сприйнятливості (χ) як індикатора геохімічного забруднення ґрунтів від пересувних джерел в м. Одесі. Основним завданням було встановлення кореляційних зв'язків між χ ґрунтів і вмістом важких металів, що містяться у викидах автотранспорту.

На 98 зразках ґрунтів у лабораторних умовах було визначено магнітну сприйнятливість і частотну залежність магнітної сприйнятливості за допомогою приладу Bartington MS 2B Dual Frequency Sensor (Великобританія). Валовий вміст Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd визначено методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу. Установлено, що значення χ змінюються від 44 до $624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ при медіанному значенні $146,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Відмічено значні перевищення вмісту Pb, Cu, Zn у ґрунтах м. Одеса. Виявлено значущі кореляційні зв'язки між χ і вмістом Pb, Cu, Zn, а також між елементами даної геохімічної асоціації.

Побудовані картосхеми розподілу χ і показника накопичення забруднення PLI, обрахованого по Pb, Cu, Zn, демонструють, що високі значення тяжіють до автодоріг і залізничних колій. Показано, що акумуляція техногенних магнітних сполук заліза і важких металів у ґрунтах Одеси відбувається в основному за рахунок викидів автомобільного транспорту.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, важкі метали, показник накопичення забруднення, м. Одеса, ґрунти.

Вступ. Сучасний стан навколишнього середовища урбанізованих територій викликає обґрунтовану тривогу, оскільки зумовлює численні екологічні, санітарно-гігієнічні та інші проблеми. Великі міста – це зазвичай складні багатофункціональні природно-антропогенні системи, в яких мало що збереглося від вихідного стану природних ландшафтів. Дедалі все більш актуальною стає оперативна оцінка і контроль забруднення ґрунтів міст важкими металами.

Одним з основних джерел забруднення довкілля міст визнано автотранспорт. Фахівці налічують у вихлопних газах близько 40 хімічних речовин-полутантів. Особливо небезпечними є високотоксичні з'єднання: оксид вуглецю, формальдегід, суміш вуглеводнів, у тому числі бензапірен. Більшість видів пального, які використовуються, містять широкий спектр металів: кадмій, нікель, цинк, свинець, мідь, миш'як, олово, ртуть. При потрапленні в навколишнє середовище такого набору небажаних компонентів спостерігається погіршення його стану [9].

У фокусі даного дослідження – туристичний та торговельний осередок, найбільший морський торговий порт в Україні, великий автомобільний та залізничний вузол – місто Одеса. За даними екологічних досліджень місто потерпає від надмірного техногенного навантаження на природне середовище, зумовленого нерівномірною територіальною концентрацією виробництва, його високою енергоємністю, збільшенням кількості автотранспорту. Серед несприятливих факторів фахівці також відмічають скорочення зелених насаджень і забудову приморських схилів [3].

Значне збільшення автомобільного парку, незадовільний технічний стан автотранспорту через його значний вік, відсутній дієвий контроль за якістю пального стали причиною збільшення рівня забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриву викидами автотранспорту. Надходження шкідливих речовин від автотранспорту домінують над викидами від стаціонарних джерел і становлять 85 % від загальної кількості [3].

Для оцінки ступеня трансформації ґрунтового покриву і привнесення частинок техногенного походження в ґрунт може бути використаний магнітний метод. Він полягає, зокрема, у масових вимірюваннях магнітної сприйнятливості, яка є показником концентрації магнітних сполук заліза [7]. У свою чергу, оксиди і гідроксиди

заліза можуть виступати сорбентами і носіями важких металів у ґрунті. Таким чином, магнітна сприйнятливість ґрунтів міста за певних умов може бути індикатором їхнього забруднення важкими металами.

Метою роботи стало дослідження магнітних характеристик і вмісту важких металів у ґрунтах Одеси та встановлення статистичних зв'язків між ними в контексті екологічного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням забруднення ґрунтів важкими металами присвячена значна кількість робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів.

У ґрунтах великих міст і біля транспортних магістралей часто реєструють геохімічну асоціацію Pb-Cu-Zn при підвищених вмістах цих металів. У результаті окиснення моторного мастила при спалюванні палива утворюються органічні сполуки, що викликають корозію частин паливної системи автомобіля, яка у свою чергу спричиняє вивільнення важких металів (Cu, Pb і Zn) у навколишнє середовище. Важкі метали накопичуються в повітрі й осідають на поверхні ґрунтового шару. Наприклад, ґрунти в Гонконзі забруднені Cd, Cu, Pb і Zn, основним джерелом яких є викиди автомобільного транспорту [10].

Більшість дослідників вважають, що спалювання природного пального формує позитивну кореляцію між концентраціями магнітних мінералів і важких металів (найчастіше це Pb, Zn, Cu, Co, Ni) у ґрунтах та інших колекторах забруднення [6].

Результати досліджень зв'язку між χ і вмістом важких металів, висвітлені в багатьох роботах, свідчать про тісний зв'язок між ними в межах індустріальних районів і міських агломерацій.

Так, наприклад, у роботі [16] показано, що концентрація Fe корелює з χ у ґрунтах біля непрацюючого залізо-переробного підприємства, де геохімічний аналіз проб виявив техногенну асоціацію Fe-Cu-Mn-Zn на фоні високих концентрацій цих елементів. Було доведено, що магнітну сприйнятливість можна використовувати як індикатор забруднення ґрунтів важкими металами. Схожі результати було отримано при дослідженні магнітних параметрів і вмісту важких металів навколо металургійного комбінату в Нанджінк (Китай) [15]. Відбір зразків прово-

дився в інтервалі глибин 0–40 см. Високі значення χ , залишкової намагніченості насичення (SIRM) та ідеальної намагніченості (ARM) зафіксовано для зразків, відібраних до глибини 20 см, зі збільшенням глибини значення цих параметрів різко зменшувалися. Вміст Ni, Cu, Fe, Pb, V, Zn по глибині розподіляється аналогічним чином. Аналіз кореляційних зв'язків між магнітними параметрами та вмістом важких металів показав високі коефіцієнти кореляції ($0,69 < R < 0,98$) між ними.

У роботі [4] висвітлено класифікацію земель Одеської області за якістю. Зазначається, що найбільший внесок у погіршення якості ґрунтів належить міді та кобальту, вміст яких може перевищувати ГДК у 2,5–3 рази.

Відбір зразків і методи дослідження. Було досліджено 98 проб, відібраних Центральною геофізичною обсерваторією (ЦГО) ДСНС України відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02–84 для визначення концентрацій важких металів (ВМ). Вимірювання вмісту ВМ виконано в ЦГО методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу.

Магнітну сприйнятливості ґрунтів досліджено на насипних зразках у лабораторії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. У лабораторних умовах було виміряно низькочастотну k_{lf} (470 Гц) та високочастотну k_{hf} (4700 Гц) магнітну сприйнятливості на приладі Bartington MS2 із датчиком MS2B Dual Frequency Sensor (Великобританія). Надалі в цій роботі розглядатиметься питома низькочастотна магнітна сприйнятливості χ , яка являє собою k_{lf} , нормовану на масу зразка.

Частотна залежність магнітної сприйнятливості (k_{fd}) обрахована за такою формулою:

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

Частотна залежність магнітної сприйнятливості k_{fd} чутлива до вмісту дрібнодисперсних суперпарамагнітних часток (розмір < 30 нм). Якщо магнетизм ґрунтів визначається переважно дрібними зернами в доменному стані на межі суперпарамагнетизму – однодоменності, для зразків характерні значення $k_{fd} > 6 \%$, тоді як при переважанні багатодоменних зерен k_{fd} показує низькі значення. У чистих ґрунтах Лісостепу і Степу України k_{fd} становить 8–13 %, у техногенно забруднених аналогах k_{fd} зазвичай < 5 % [8].

За допомогою програмного комплексу Statistica 7.0 були обраховані статистичні характеристики та матриці кореляцій масивів даних.

Основні результати та обговорення. Статистичні показники, які характеризують розподіли χ , k_{fd} і вміст важких металів у ґрунтах м. Одеси, наведено в табл. 1. χ

ґрунтів міста змінюється в межах від 44 до $637 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$ при середньому значенні $167 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$. Оскільки фоновим значенням для південних чорноземів Одеси є $\chi \sim 100 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$ [2], можна стверджувати, що із 98 досліджених зразків ґрунту тільки 16 близькі до фонових.

k_{fd} поверхневих відкладів Одеси становить 0,1–10,6 % при середньому значенні 4,3 %, низькі середнє та медіанне значення k_{fd} однозначно свідчать про переважання великих багатодоменних зерен у магнітній фракції.

Актуальна кислотність ґрунту характеризується величиною водневого показника pH (водн.). За значеннями pH водної витяжки ґрунти Одеси належать до нейтральних [5], pH (водн.) поверхневого шару ґрунтів коливається в межах 6,8–7,5 (табл. 1).

Вивчення розподілу важких металів у ґрунтах Одеси показали, що середній валовий вміст міді становить 66,4 мг/кг, що перевищує фонове значення (16 мг/кг) в чотири рази [5].

Регіональний фон свинцю в ґрунтах міста – 11 мг/кг [5]. Середній валовий вміст свинцю становить 68,4 мг/кг, що перевищує фонове значення в шість разів.

Фоновий вміст цинку становить 86 мг/кг [5]. Середній вміст цинку становить 219 мг/кг, що перевищує фонове значення у 2,5 рази.

Згідно з нормативами оцінок забруднення ґрунтів ВМ [1] благополучною можна вважати екологічну ситуацію, коли вміст елементів відносно регіонального фону валової форми в ґрунтах становить 1–2; задовільною – 2–4; передкризовою 4–5; кризовою 5–6; катастрофічною > 6. Вміст міді у ґрунтах відповідає передкризовому екологічному стану (4), кризовому стану відповідає вміст свинцю (6), задовільній екологічній ситуації відповідає вміст цинку (2,5). Вміст кадмію, марганцю та нікелю в ґрунтах Одеси близький до фонових значень.

Таким чином, ґрунти міста забруднені Cu, Pb і Zn, оскільки їхній вміст перевищує фонові значення в декілька разів.

Найбільші асиметрії розподілів характерні для χ , k_{fd} , а також для міді та свинцю, тобто у зазначених розподілах переважають високі значення. Решта розподілів є майже симетричними. Оцінити вплив техногенезу на магнітні властивості та вміст важких металів у ґрунтах м. Одеси можна за величиною коефіцієнта варіації, який є якісним критерієм оцінки ступеня забруднення ґрунтів. Чим більший коефіцієнт варіації, тим більш нерівномірним є розподіл. Найсильніше варіює χ , k_{fd} , а також вміст Cu і Pb (див. табл. 1), що підтверджує їхню техногенну обумовленість.

Таблиця 1. Статистичні показники магнітних властивостей та вмісту важких металів у ґрунтах м. Одеси

	Середнє	Медіана	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Асиметрія	Експес
$\chi [10^8 \text{ м}^3/\text{кг}]$	167,8	146,9	44,2	624,0	7605,1	87,2	52,0	1,9	7,1
$k_{fd} [\%]$	4,3	4,0	0,1	10,6	6,7	2,6	60,4	0,5	–0,4
Cd [мг/кг]	0,2	0,3	0,0	1,0	0,1	0,2	100,0	1,0	0,4
Mn [мг/кг]	585,1	600,0	144,0	964,0	18180,0	134,8	23,0	–0,3	1,0
Cu [мг/кг]	66,4	54,0	14,0	339,0	2594,9	50,9	76,7	2,2	7,9
Ni [мг/кг]	28,5	27,5	9,0	54,0	83,4	9,1	32,1	0,4	0,0
Pb [мг/кг]	68,4	58,5	11,0	211,0	1819,6	42,7	62,4	1,2	1,3
Zn [мг/кг]	219,2	214,0	62,0	429,0	8182,5	90,5	41,3	0,3	–0,6
pH (водн.)	7,2	7,2	6,8	7,5	0,0	0,1	1,6	0,2	0,5

У табл. 2 наведено коефіцієнти кореляцій між магнітними характеристиками та вмістом важких металів у ґрунтах м. Одеси. Наявність зв'язку може вважатися доведеною, якщо коефіцієнт кореляції Пірсона (r) між двома масивами даних перевищує критичну величину для об-

раного рівня значущості p і відомих розмірів вибірки. Вибіркі даних містять по 98 пар значень, отже, при $p < 0,01$ критичне значення r становить 0,267.

Як видно з таблиці, статистично достовірні показники кореляції при рівні значущості $p < 0,01$ спостерігаються

між χ і міддю (0,47), цинком (0,34) та свинцем (0,28). Також значущі коефіцієнти кореляції встановлено між елементами геохімічної асоціації елементів Cu-Pb-Zn. Дана

асоціація є типовою техногенною асоціацією, зокрема для автотранспортного забруднення [11, 12], яке є домінуючим в Одесі.

Таблиця 2. Коефіцієнти кореляції між магнітними характеристиками та вмістом важких металів у ґрунтах м. Одеси (Рівень значущості $p < 0,01$; кількість зразків – 98)

	χ	k_{fd}	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn
k_{fd}	-0,58						
Mn	-0,08	0,15					
Cu	0,47	-0,40	0,02				
Ni	-0,14	0,18	0,61	-0,09			
Pb	0,28	-0,23	-0,26	0,47	-0,14		
Zn	0,34	-0,35	-0,22	0,46	-0,14	0,63	
pH (водн.)	0,03	-0,15	-0,35	0,07	-0,37	0,02	-0,10

Для визначення рівня забруднення ґрунтів в Одесі використано показник накопичення забруднення PLI (Pollution load index) [14], розрахований як середнє геометричне коефіцієнтів концентрації металів – політантів (K_c , $i = 1 \dots 3$), де K_c i -го металу являє собою відношення вмісту металу в зразку до фонового вмісту:

$$PLI = \sqrt[3]{K_c(Pb) * K_c(Zn) * K_c(Cu)}.$$

Показник накопичення забруднення PLI демонструє у скільки разів концентрація політантів у ґрунті перевищує фонову. Значення $PLI > 1$ показує, що ґрунти забруднені, про відсутність забруднення свідчить $PLI < 1$ [13].

Отримані аналітичні дані лягли в основу картосхем, які відображають просторові розподіли χ і PLI в ґрунтах м. Одеси. Картосхеми виконано в програмному середовищі MapInfo. Високі значення $\chi \sim 250-624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рис. 1, а) приурочені до районів з інтенсивним рухом автотранспорту (Лузанівка, Лиманчик, Слобідка, Миколаївська дорога, вул. Чорноморського Козацтва та Дерибасівська), до промислових об'єктів (Одеський кабельний

завод, завод гумових технічних виробів, машинобудівний завод "Червона гвардія", нафтопереробний завод "Лукойл" (Суворовський та Причорноморський райони)), а також до морського порту. Порівняно низькі значення $\chi \sim 100-200 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ зафіксовано в південній та західній частинах міста: у районах Сахалінчик, Черемушки, Ближні Мельниці, Куяльник і Крива Балка.

На карті-схемі розподілу показника накопичення забруднення PLI за елементами Cu, Pb і Zn (рис. 1, б) чітко видно, що високі значення тісно пов'язані з автотранспортними дорогами та залізничними коліями. Максимальні значення 6–10 спостерігаються біля вулиць Миколаївська, Приморська, Водопровідна, Чорноморського Козацтва, Балківська і Тираспільське шосе.

Отже, порівнюючи дві карти (рис. 1), бачимо, що високі значення χ і PLI характерні для північних і центральних частин міста, помірно низькі значення притаманні південним і північно-західним районам м. Одеси. Між χ і PLI також існує статистично значущий зв'язок, коефіцієнт кореляції становить $r = 0,42$.

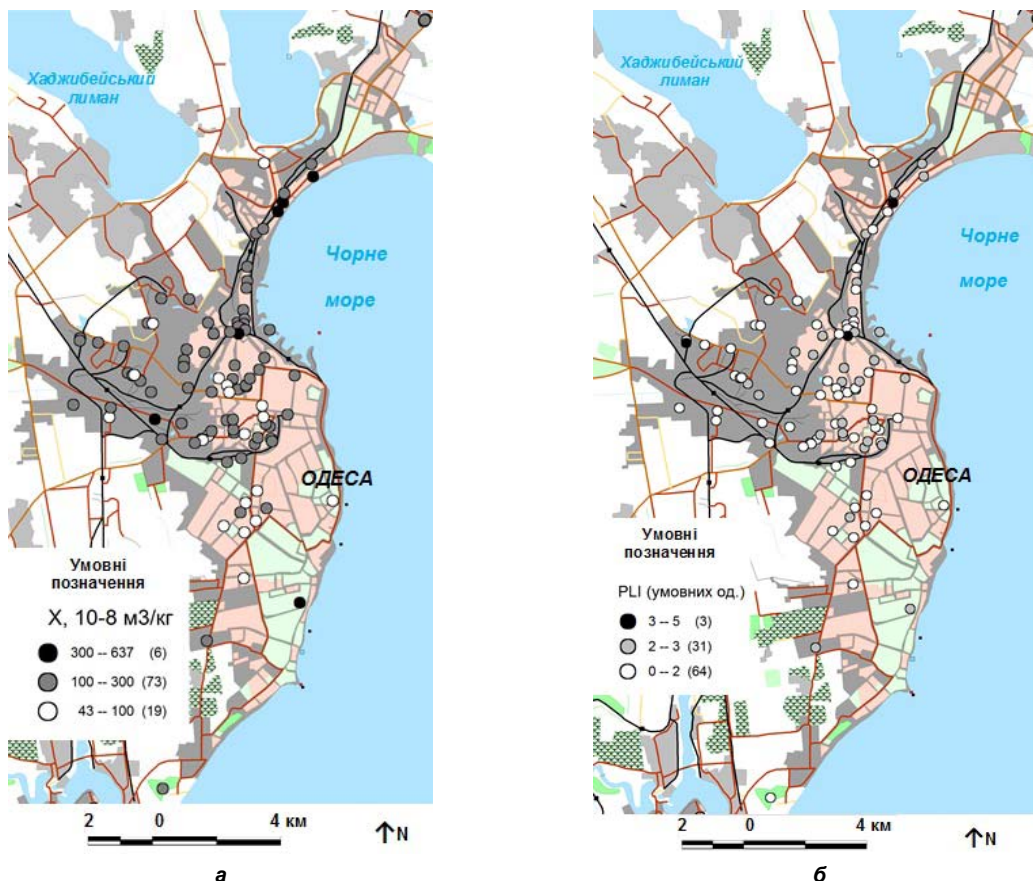


Рис. 1. Карти розподілу: а – магнітної сприйнятливості ґрунтів м. Одеси; б – показника накопичення забруднення PLI для ґрунтів м. Одеси

Висновки. Установлено, що ґрунти Одеси забруднені важкими металами, які формують геохімічну асоціацію Pb-Cu-Zn: середній вміст Cu у ґрунтах перевищує фонове значення в чотири рази, вміст Pb – у шість разів, вміст Zn – у два з половиною рази. Вміст кадмію, марганцю та нікелю у ґрунтах Одеси близький до фонових значень.

Із 98 досліджених зразків ґрунту Одеси – 15 % близькі до фонових, 4 % зразків ґрунту перевищують фонове значення в шість разів, у три рази перевищують фонове значення 30 % зразків і в два рази – 50 % зразків.

Доведено значущі кореляційні зв'язки між магнітною сприйнятливістю та вмістом компонентів геохімічної асоціації важких металів Pb-Cu-Zn, коефіцієнт кореляції між показником накопичення забруднення (PLI) та χ становить 0,42. Такий зв'язок можна характеризувати як середній для вибірки із 98 зразків.

Отже, ґрунтуючись на проведених дослідженнях, можна пропонувати магнітний метод як спосіб експресної оцінки забруднення ґрунтів території Одеси пересувними джерелами.

Список використаних джерел

1. Коробкин В. И. Экология / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов/на Д. : Феникс, 2003. – 576 с.
2. Меньшов О. І. Магнітна сприйнятливість південних чорноземів України на прикладі Одеської області / О. І. Меньшов // Вісн. Київ ун-ту. Геологія. – 2015. – № 2(69). – С. 70–74.
3. Одеса сьогодні: екологія міста / упоряд. К. А. Максимова. – Од. : ОННБ ім. М. Горького, 2014. – 88 с.
4. Прикуп Л. О. Диференціація земель Півдня Одеської області за оцінкою якості ґрунтів / Л. О. Прикуп // Вісн. Одес. ун-ту. Географ. та геол. науки. – 2014. – Т. 19, вип. 4. – С. 98–106.
5. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А. І. Фатеева, Я. В. Пашченко. – Харків : ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського", 2003. – 72 с.
6. Environmental magnetism: principles and applications / Q. Liu, A. P. Roberts, J. C. Larrasoana, S. K. Banerjee, Y. Guyodo, L. Tauxe, F. Oldfield // Reviews of Geophysics. – 2012. – № 50. – RG4002. Режим доступу: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000393/epdf>.
7. Evans M. E. Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetism / M. E. Evans, F. Heller // International Geophysics series. Elsevier science (USA). – 2003. – Vol. 86. – 299 p.
8. 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 // Geophysical Journal International. – 1996. – Vol. 124. – P. 228–240. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06366.x>.
9. Gamst J. Determination of solute organic concentration in contaminated soils using a chemical-equilibrium soil column system / J. Gamst, P. Kjeldsen, Th. H. Christensen // Water, Air, and Soil Pollut. – 2007. – Vol. 183. – № 1–4. – P. 377–389.
10. Li X. D. Heavy metals contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong / X. D. Li, C. S. Poo, P. S. Liu // Appl. Geochem. – 2001. – Vol. 16. – P. 1361–1368.
11. Lu S. G. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoil: a case study from the city of Luoyang, China / S. G. Lu, S. Q. Bai, Q. F. Xu // Geophys. J. Int. – 2007. – Vol. 171. – P. 568–580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03545.x>.
12. Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates / S. G. Lu, S. Q. Bai, J. B. Cai, C. Xu // J. Zhejiang Uni. Sci. – 2005. – Vol. 6(8). – P. 731–735. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.03545.x>.
13. Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study / A. Schmidt, R. Yarnold, M. Hill, M. Ashmore // Journal of Geochemical Exploration. – 2005. – Vol. 85(3). – P. 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2004.12.001>.

14. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index / D. L. Tomlinson, J. G. Wilson, C. R. Harris, D. W. Jeffney // Helgol. Wiss. Meeresunters. – 1980. – Vol. 33. – P. 566–572. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>.

15. Relationship between magnetic parameters and heavy element contents of arable soil around a steel company, Nanjing / X. Duan, S. Hu, H. Yan, U. Blaha, W. Roesler, E. Appel, WeiHua Sun // Science China Earth Sciences. – 2010. – Vol. 53. – P. 411–418.

16. 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 // Geophysical Journal International. – 1997. – Vol. 130(3). – P. 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01867.x>.

References

1. Korobkyn, V. I., Peredelskiy, L. V. (2003). *Ekologiya*. Feniks: Rostov-on-Don, 576 p. [in Russian].
2. Menshov, O. I. (2015). Magnetic susceptibility of the Southern chernozems of Ukraine, case study from Odesa region. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(69), 70–74. [in Ukrainian].
3. Maksymova, K. A. (2014). *Odesa sohodni: ekolohiya mista*. Odesa: ONNB im. Horkoho, 88 p. [in Ukrainian].
4. Prycup, L. O. (2014). Differentiation of the land assessment of soil quality of the Southern part of Odesa region. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 19, 4, 98–106. [in Ukrainian].
5. Fatieieva, A. I., Pashchenko, Ya. V. (Ed.) (2003). Background contents of trace elements in soils Ukraine. National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", 72 p. [in Ukrainian].
6. Liu, Q., Roberts, A. P., Larrasoana, J. C., Banerjee, S. K., Yohan, G., Tauxe L., Oldfield, F. (2012). Environmental magnetism: principles and applications. *Reviews of Geophysics*, 50, RG4002. Access mode: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000393/epdf>.
7. Evans, M. E., Heller, F. (2003). Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetism. *International Geophysics series*. Elsevier science (USA), 86, 299 p.
8. Dearing, J. A., Dann R. J. L., Hay, K. Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'Grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J.*, 124, 228–240. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06366.x>.
9. Gamst, J., Kjeldsen, P., Christensen, Th. H. (2007). Determination of solute organic concentration in contaminated soils using a chemical-equilibrium soil column system. *Water, Air, and Soil Pollut.*, 183, 1–4, 377–389.
10. Li, X. D., Poo, C. S., Liu, P. S. (2001). Heavy metals contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Appl. Geochem.*, 16, 1361–1368.
11. Lu, S. G., Bai, S. Q., Xu, Q. F. (2007). Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoil: a case study from the city of Luoyang, China. *Geophys. J. Int.*, 171, 568–580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03545.x>.
12. Lu, S. G., Bai, S. Q., Cai, J. B., Xu, C. (2005). Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates. *J. Zhejiang Uni. Sci.*, 6, 731–735. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.03545.x>.
13. Schmidt, A., Yarnold, R., Hill, M., Ashmore, M. (2005). Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study. *J. Geochem. Explor.*, 85, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2004.12.001>.
14. Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., Jeffney, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgol. Wiss. Meeresunters*, 33, 566–572. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>.
15. Duan, X., Hu, S., Yan, H., Blaha, U., Roesler, W., Appel, E., Sun, WeiHua (2010). Relationship between magnetic parameters and heavy element contents of arable soil around a steel company, Nanjing. *Science China Earth Sciences*, 53, 411–418.
16. Dearing, J. A., Bird, P. M., Dann, R. J. L., Benjamin, S. F. (1997). Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation. *Geophys. J.*, 130, 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01867.x>.

Надійшла до редколегії 07.04.17

I. Stakhiv, Cand. Sci. (Geol.), Engineer
E-mail: fatix@ukr.net,
I. Tsiupa, I Category Engineer
E-mail: tsiupa@ukr.net,
K. Bondar, Cand. Sci. (Geol.), Senior research fellow
E-mail: ks_bondar@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kiev, 03022, Ukraine,
A. Korol, Leading Chemist
E-mail: lzgcgo@meteo.gov.ua
Central Geophysical Observatory
39-B Nauky Ave., Kyiv, 03028, Ukraine

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AS INDICATOR OF VEHICLE POLLUTION OF THE TOPSOIL IN ODESA CITY

The work is devoted to proving the use of low-frequency mass-specific magnetic susceptibility (χ) as an indicator of geochemical soil pollution from mobile sources in Odesa. The main task was to find the correlation between the soil χ and the content of heavy metals that are present in the emissions of vehicles.

On 98 soil samples of magnetic susceptibility, the frequency dependence of magnetic susceptibility (k_{fd}) was measured on Bartington MS 2B Dual Frequency Sensor. The bulk content of Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd was determined from atomic absorption spectrometry. The χ_{if} varies from 44 to $624 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ with a median value $146.9 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Bulk content of Pb, Cu, Zn in soils of Odesa demonstrate substantial increase on background level. The significant linear correlations are observed both between χ and contents of Cu, Zn and Pb and between elements of this geochemical association.

The maps of χ and PLI (pollution load index) were calculated by Pb, Cu, Zn. They show that high values related to automobile roads and railways. Anthropogenic magnetic iron compounds and heavy metals in soils of Odesa are accumulated mainly from vehicle emissions.

Originality of the study is in using magnetic properties of soils to delineate contaminated areas in Odesa city.

Magnetic monitoring can be recommended to control the anthropogenic pollution in Odesa, in particular for the assessment of vehicle emissions contribution.

Keywords: magnetic susceptibility, heavy metals, pollution load index, Odesa city, soils.

И. Стахив, канд. геол. наук, инж.,
И. Цюпа, инж. 1 кат., К. Бондарь, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,
А. Король, вед. химик
Центральная геофизическая обсерватория
пр. Науки, 39, корп. 2, г. Киев, 03028, Украина

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА В ОДЕССЕ

Работа посвящена обоснованию применения магнитной восприимчивости (χ) в качестве индикатора геохимического загрязнения почв от передвижных источников в г. Одессе. Основной задачей было установление корреляционных связей между χ почв и содержанием тяжелых металлов, которые содержатся в выбросах автотранспорта.

На 98 образцах почв в лабораторных условиях с помощью прибора Bartington с датчиком MS 2B Dual Frequency Sensor (Великобритания) были определены: удельная низкочастотная магнитная восприимчивость, а также частотная зависимость магнитной восприимчивости. Валовое содержание Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd установлено методом атомно-абсорбционного анализа. Определено, что значение χ изменяется от 44 до $624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ при медианном значении $146,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Отмечено значительное превышение содержания Pb, Cu, Zn в почвах г. Одессы. Выявлены значимые корреляционные связи между χ и содержанием Cu, Zn и Pb, а также между элементами данной геохимической ассоциации.

Построенные картосхемы распределения χ и показателя накопления загрязнения PLI, рассчитанного по Pb, Cu, Zn, демонстрируют, что высокие значения тяготеют к автодорогам и железнодорожным путям. Доказано, что аккумуляция техногенных магнитных соединений железа и тяжелых металлов в почвах Одессы происходит в основном за счет выбросов автомобильного транспорта.

Научная новизна заключается в использовании магнитных характеристик грунтов для выявления техногенно-загрязненных территорий в г. Одессе.

Магнитный мониторинг можно рекомендовать для контроля за состоянием окружающей среды городских агломераций, в частности для оценки загрязнения от передвижных источников.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, тяжелые металлы, показатель накопления загрязнения, г. Одесса, почвы.

УДК 550:805

К. Нікітченко, асп.

Email: kostyanikitchenko@gmail.com

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

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИДІЛЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЛІТОСФЕРИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М. І. Орлюком)

Розглянуто методики визначення магнітного поля літосфери, проблеми його виділення та інтерпретації. У роботі коротко проаналізовано методи моделювання регіональних магнітних тіл. В останні роки накопичився великий об'єм векторних і скалярних магнітних даних, які стали доступними для вчених усього світу. Вони охоплюють висотні рівні від поверхні Землі до супутникових висот і характеризуються значною горизонтальною щільністю. Обробка таких даних вимагає альтернатив до методу сферичних гармонік, що широко використовується. Кількість доступних методів значна, тому часто важко вибрати один метод, який буде найбільш підходящим.

Регіональні методи моделювання можна поділити на дві групи. До першої входять методи, основані на сферичних сплайнах, вейвлетах чи інших локалізованих сферичних функціях. До другої відносять методи, в основі яких лежить плоска апроксимація, наприклад прямокутний гармонічний аналіз і циліндричний гармонічний аналіз; методи які враховують сферичність Землі (SCHA, Revised-SCHA). Виділено особливості кожної методики та межі її застосування. Розглядаються критерії вибору оптимальної методики на основі існуючих даних і перспективи подальшого розвитку регіонального магнітного моделювання. Проблема поділу полів розв'язується протягом усього етапу розвитку геомагнетизму, але однозначного рішення не має у зв'язку з неоднозначністю оберненої задачі магніторозвідки. З метою представлення та подальшого аналізу поля (як правило, його аномальної компоненти, зв'язаної з літосферою) середовище апроксимується безліччю комірок з позитивною або негативною намагніченістю, що дозволяє підібрати магнітні аномалії будь-якого типу. Незважаючи на те, що така модель середовища не є геологічною, вона дозволяє в подальшому робити з полем будь-яке перетворення (перерахунки, усереднення і т. д.).

Ключові слова: регіональне моделювання, сферичні гармоніки, сферичний гармонічний аналіз, регіональні методи моделювання магнітних тіл.

Вступ. Наразі не існує єдиної прийнятої методики для виділення складових магнітного поля Землі від різних джерел. І це, у першу чергу, обумовлено не аналітичною складовою, а відсутністю в достатній кількості відповідних вимірних даних. Хоч певні зрушення в даному напрямку є, наприклад, запуск таких супутникових місій, як "Swarm" і "Magnetospheric Multiscale", які дозволять у найближчому майбутньому краще зрозуміти природу джерел магнітного поля, його внесків, інтенсивності варіацій. Проте через високу вартість досліджень, кількість їх не відповідає потребам. Тому постає питання: як із наявних на сьогоднішній день даних побудувати прийнятну модель магнітного поля, яке створює літосфера.

В останні роки накопичився великий об'єм векторних і скалярних магнітних даних, які стали доступними для вчених усього світу. Вони охоплюють висотні рівні від поверхні Землі до супутникових висот і характеризуються значною горизонтальною щільністю. Обробка таких даних вимагає альтернатив до методу сферичних гармонік, що широко використовуються. Кількість доступних методів значна, тому часто важко вибрати один метод, який буде найбільш підходящим [5]. Регіональні методи моделювання можна поділити на дві групи. У першу входять методи, основані на сферичних сплайнах, вейвлетах чи інших локалізованих сферичних функціях. До другої відносять методи, в основі яких лежить плоска апроксимація, наприклад прямокутний гармонічний аналіз і циліндричний гармонічний аналіз; методи, які враховують сферичність Землі (SCHA, Revised-SCHA). Усі підходи, очевидно, не еквівалентні на практиці [6].

Підходи до регіонального моделювання, які сьогодні використовуються у світі, основані на рішенні рівняння Лапласа в обмеженій області. Перш ніж продовжити, важливо зазначити, що поняття внутрішньої й зовнішньої області в регіональному масштабі ускладнюється наявністю бічної межі, будь то квадрат чи коло (або будь-який інший тип границі). Таким чином, регіональні базисні функції не можуть розрізняти магнітних полів, що генеруються нижче або вище поверхні Землі. Тож, якщо потрібно вивчити чи інтерпретувати магнітне поле моделі, перед цим необхідно вирахувати небажані компоненти [6].

Прямокутний гармонічний аналіз – один з основних підходів моделювання магнітних полів регіонального та локального масштабу, який не вимагає застосування великої кількості модельних параметрів. Прямокутний гармонічний аналіз (RHA) застосовується в локальній області прямокутного вікна. Чим більшим стає розмір локальної області – тим менш точними ставитимуть результати, що є наслідком апроксимації земної поверхні як площини. З іншого боку, такий підхід легший в застосуванні за сферичний гармонічний аналіз (SCHA), і дає хороші результати на малих площах. Уперше він застосований такими вченими, як Накагава і Юкутаке для аналізу супутникових даних магнітного поля. Для аналізу супутникових даних потрібно вводити зважувальну функцію, яка мінімізуватиме крайові ефекти [5].

Потенціальна функція в прямокутних координатах виразу може бути представлена в комплексній формі таким чином:

$$Sv(x,y,z)=X_0x+Y_0y+Z_0z+\sum_{k=-K}^K\sum_{l=-L}^L xkl\exp\left[-2\pi i\left(\frac{kx}{L_x}+\frac{ly}{L_y}\right)\right]\exp(D_{kl}z), \quad (1)$$

де вісь x направлена на географічну північ, y – на географічний схід, z – вниз до центру Землі.

Вираз (1) є дійсним у необмеженій області $0, L_x \times [0, L_y] \times [0, \infty]$ з віссю z , орієнтованою позитивно вниз (рис. 1). Потенціал – це по суті L_x, L_y періодична функція на горизонтальній площині, яка прямує до нуля, коли вісь z прямує в напрямку мінус нескінченності. Вираз, за-

значений вище, доповнюється лінійними членами, які мінімізують граничні ефекти. Накагава і Юкутаке виконували обчислення в квадратному вікні ($L_x = L_y$) з ізотропним розкриттям ($K = L = 3$), тоді як винахідник даного методу використовував вікно прямокутної форми, але обмежив суми залежністю $k + l = N_{\max} + 1$. Коли функція не є періодичною – виникають ефекти Гіббса. І вони тим бі-

льші, чим більше відрізняються значення на протилежних границях. Лінійні члени, які, очевидно, гармонічні, призначені для мінімізації ефектів Гіббса. Також для мінімізації крайових ефектів можливо вводити зважувальну функцію, що можна побачити на прикладі робіт Накагава і Юкутаке [5].

За відсутності магнітних джерел, близько розташованих до границі області, виконуються умови регулярності. Проте при моделюванні по обмеженій області виникає проблема обмеженого використання хвиль різних довжин, так, наприклад, не можна використовувати такі довжини хвиль, які будуть більшими за розмірність області. Таким чином, значення на границі області будуть характеризуватись найменшою точністю. RNA метод добре

себе показує при моделюванні магнітних джерел як великого масштабу (ядро), так і малого (земної кори). Проте встановлено, що на границях виникають спотворення, які поширюються від країв до центра прямокутника, що характеризує їх як ефект Гіббса. Великі похибки обумовлені також плоскою апроксимацією сферичної земної поверхні. Неортогональність функцій – ще одна особливість, яка не дозволяє проводити спектральний аналіз. При використанні даних, отриманих на різних висотах, даний метод не забезпечує задовільних рішень, адже радіальні функції не призначені для такої мети. Постановка відповідних граничних умов кожного домену всієї області підвищує точність методу [5].

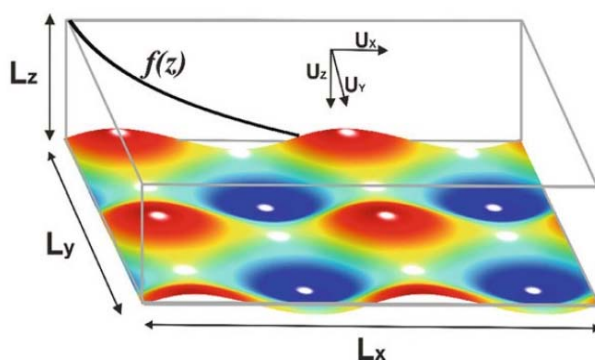


Рис. 1. Схематичне зображення робочої області методу RNA
Кольорова поверхня являє собою прямокутні гармоніки для $l = 3$ і $k = 3$; $f(z)$ – експоненціальна залежність радіального поля від висоти [3]

На рис. 2 наведено приклад застосування методу на території Європи. Модель отримана на основі інвертування синтетичних даних по Z-компоненті без установлення конкретних граничних умов. Мінімальні довжини хвиль близько 100 км [5].

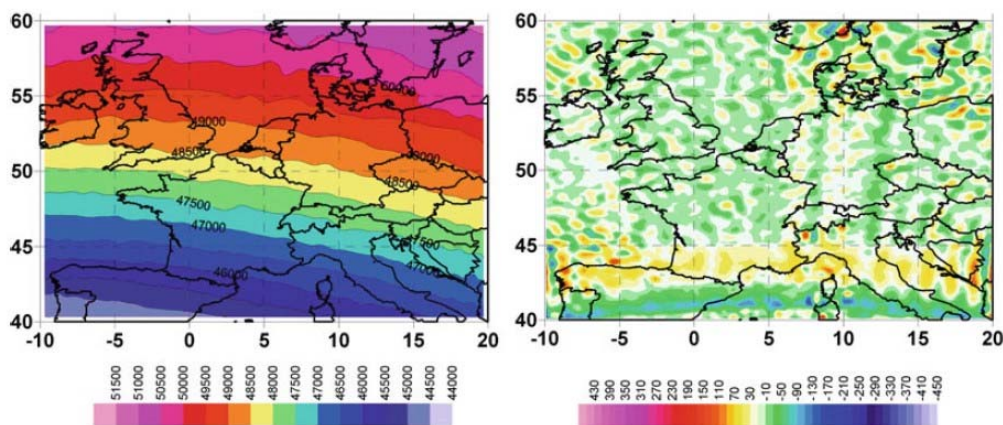


Рис. 2. Приклад застосування прямокутного гармонічного аналізу для Z-компоненти.
Отримана модель (зліва) і нев'язки між моделлю та даними (праворуч). Одиниці вимірювання – нТ [3]

Даний метод має низку недоліків, проте продовжує використовуватись при моделюванні для малих територій, де можна не враховувати сферичність поверхні Землі. Є методи, які перевершують його в багатьох аспектах.

Циліндричний гармонічний аналіз. Цей метод розробив Елдрідж, він базується на розв'язку рівняння Лапласа в обмеженій області, а саме, у циліндричній області

в полярних координатах. Використовується для аналізу магнітних полів, які мають циліндричну симетрію. Вертикальна вісь досліджуваної області – це вісь симетрії, а відстань від такої осі перпендикулярно до границі є радіусом ρ (рис. 3). У циліндричних координатах (r, θ, z) , рівняння Лапласа набуває вигляд [5]:

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r V) + \frac{1}{r^2} \partial_{\theta}^2 V + \partial_z^2 V = 0 \quad (2)$$

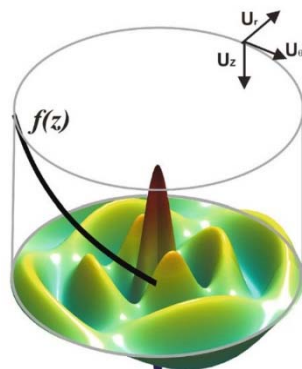


Рис. 3. Схематичне зображення робочої області методу СНА.

Кольорова поверхня являє собою прямокутні гармоніки для $m = 2$ і $k = 2$; $f(z)$ – експоненціальна залежність радіального поля від висоти [3]

Методом розділення змінних з $V(r, \theta, z) = R(r)T(\theta)Z(z)$ виконуємо перетворення, результатом яких є такий набір диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} d_z^2 Z &= \mu^2 Z, \\ r^2 d_r^2 R + r d_r R + (\mu^2 r^2 - \lambda^2) R &= 0, \\ d_\theta^2 T &= -\lambda^2 T, \end{aligned} \quad (3)$$

де μ^2 і λ^2 – апіорні комплексні константи. Змінюючи μr на s , а $S(s)$ на $R(s/\mu)$, отримаємо диференціальне рівняння Бесселя

$$s^2 d_s^2 S + s d_s S + (s^2 - m^2) S = 0, \quad (4)$$

де s – апіорна комплексна змінна. До рівняння (4) беруться умови: $s = 0$ і $s = \mu r$. Наступне рівняння (5) має два лінійно незалежні рішення, а саме – функцію Бесселя першого роду $J_m(s)$ і функцію Неймана $N_m(s)$. Однак функції Неймана мають бути відкинутими, оскільки вони прямують до нескінченності за умови, коли s прямує до нуля, отже, [5]

$$R(r) = J_m(\mu r). \quad (5)$$

Фактор μ може бути визначеним установленням граничних умов як $s = \mu r$. Тому

$$a J_m(\mu r) + \beta J_m(\mu r) = 0. \quad (6)$$

Формальне рішення виглядає таким чином:

$$V(r, \theta, z) = \sum_{m=0}^M \sum_{k=0}^K J_m(\mu_{mk} r) (D_{mk} \cos m\theta + E_{mk} \sin m\theta) \exp(\mu_{mk} z). \quad (7)$$

За умови $r = \rho$, рішення набуде такого вигляду:

$$V(r, \theta, z) = A z + \sum_{m=0}^M \sum_{k=0}^K J_m(k \rho r) (D_{mk} \cos m\theta + E_{mk} \sin m\theta) \exp(k z). \quad (8)$$

Таке рівняння (8) справедливе для області всередині циліндра. Основну проблему становить знаходження параметра v . При використанні одного і того ж значення v для великих і малих масштабів виникають значні похибки. При регіональному моделюванні даним методом можна отримати цікаві результати, якщо його мета відфільтрувати деякі компоненти поля, створюваного землею корою. Проте не можна стверджувати, що головне поле буде правильно представлено, оскільки багато функцій не утворюють повного базису. Функції не є ортогональними, тому застосування спектрального аналізу не допускається, як і використання даних, отриманих на рі-

зних висотних рівнях. Математика задачі може бути правильною при встановленні граничних умов, що дозволяє визначити не лише одне значення v , але й набір μ_{mk} . Таким чином, визначається повна базисна функція, що дозволяє представити будь-який внесок магнітного поля (ядра чи кори) в горизонтальному плані [5].

На рис. 4 наведено приклад застосування методу для території центральної Європи. Ні в якому разі не можна стверджувати, що магнітне поле представлено правильно, оскільки багато функцій не утворюють повного базису [5]. Функції не є ортогональними, спектральний аналіз неможливий, а застосування даних з різних висот призводить до значних труднощів.

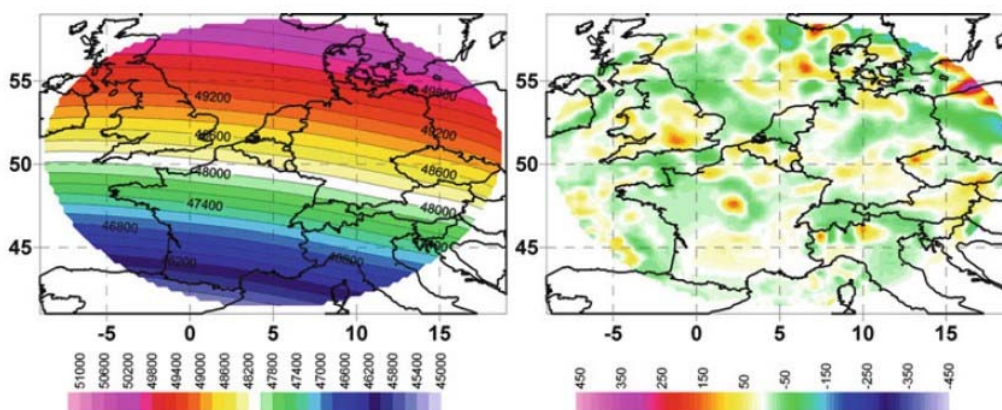


Рис. 4. Приклад застосування циліндричного гармонічного аналізу для Z-компоненти.

Отримана модель (ліворуч) та невідповідності між моделлю та даними (праворуч). Одиниці вимірювання – нТ [3]

SCHA і R-SCHA. Гармонічний аналіз сферичного сегмента з однією основою (SCHA) і вдосконалений гармонічний аналіз сферичного сегмента з однією основою (R-SCHA) в регіональному моделюванні найбільш близькі до сферичного гармонічного аналізу. SCHA був розроблений Хейнесом для моделювання аналітичного магнітного поля Канади в 1985 р. [9]. З того часу ці методи набули широкого використання при моделюванні регіональних магнітних об'єктів включно з розрахунком аналітичного магнітного поля, вікових варіацій, поля земної кори, зовнішнього магнітного поля і, навіть, застосування за межами геомагнетизму.

$$V_{SCHA} = a \sum_{k>m} \sum_{m>0} \left(\frac{a}{r} \right)^{nk+1} \left(g_{nk}^{i,m} \cos(m\phi) + h_{nk}^{i,m} \sin(m\phi) \right) P_{nk}^m(\theta) +$$

$$a \sum_{k>m} \sum_{m>0} \left(\frac{a}{r} \right)^{nk} \left(g_{nk}^{e,m} \cos(m\phi) + h_{nk}^{e,m} \sin(m\phi) \right) P_{nk}^m(\theta), \quad (9)$$

де g_{nk}^m і h_{nk}^m – коефіцієнти внутрішніх і зовнішніх потенціалів, представлені верхніми індексами i та e . Відповідні функції Лежандра $P_{nk}^m(\theta)$ задовольняють граничні змішані умови θ_0 .

Незважаючи на очевидні реалістичні результати, отримані даним методом, існують обмеження, обумовлені неповнотою базисних функцій. Тому набули розви-

Факт того, що SCHA задовольняє рівняння Лапласа і можливість представлення високочастотних полів за допомогою малого набору коефіцієнтів (порівняно з глобальним сферичним аналізом) робить метод одним з основних, зокрема на національному рівні [8]. Хоча існують недоліки оригінального SCHA, пов'язані з інверсією мультирівневих наборів даних. Альтернативою SCHA став метод R-SCHA, в якому стало можливим коректне використання мультирівневих наборів даних [8].

Сферичний гармонічний аналіз з однією основою продовжує розвиватися протягом останніх десятиліть. Потенціал магнітного поля SCHA – це рішення рівняння Лапласа в обмеженій області, виглядає таким чином [5]:

тку різні рішення і вдосконалення методу SCHA під єдиною назвою R-SCHA. Залежно від обраних граничних умов, обсягу даних та їхнього розподілу вибирається оптимальне рішення R-SCHA (10). Однак усі рішення мають один і той самий канонічний вигляд [5]:

$$V_{R-SCHA} = a \sum_{k>m} \sum_{m>0} \left(\frac{a}{r} \right)^{nk+1} \left(g_{nk}^{i,m} \cos(m\phi) + h_{nk}^{i,m} \sin(m\phi) \right) P_{nk}^m(\theta) +$$

$$a \sum_{k>m} \sum_{m>0} \left(\frac{a}{r} \right)^{nk} \left(g_{nk}^{e,m} \cos(m\phi) + h_{nk}^{e,m} \sin(m\phi) \right) P_{nk}^m(\theta) +$$

$$a \sum_{p>0} \sum_{m>0} R_p(r) \left(g_p^m \cos(m\phi) + g_p^m \sin(m\phi) \right) K_p^m(\theta) \quad (10)$$

Порівняно із SCHA R-SCHA включає додатковий набір базисних функцій $K_p^m(\theta)$, відомих під назвою функцій Мілера, але використовує тільки один набір базисних функцій Лежандра. P – упорядкований індекс; R_p – радіальні функції, що являють собою зміну магнітного поля в радіальному напрямку всередині конічної області за умови, що використовуються набори даних з різних висот [5].

Проте SCHA продовжує застосовуватись при злитті супутникових і приповерхневих даних, а також, за наявності набору даних тільки на одному висотному рівні. Змога об'єднання супутникових і приповерхневих даних відкриває новий спектр можливостей для вивчення різних областей земної кори і регіонального аналізу та безумовно залишається одним із пріоритетних напрямів досліджень [6].

Теоретичні обмеження SCHA. Обидва методи – SCHA і R-SCHA мають обмеження в їхньому практичному застосуванні.

- Відображення довгих хвиль. Довгохвильове моделювання (вікові варіації чи спокійні сонячні магнітні варіації) методом SCHA має певні обмеження, обумовлені моделюванням магнітного поля в обмеженій області. Тобто, чим більша комірка моделювання, тим більшого хвильового діапазону можна досягти.

- Радіальна екстраполяція поля. Хайнц показав, як погіршується точність моделей SCHA з висотою. Нині

таке обмеження набуло широкого резонансу у зв'язку зі збільшенням даних з різних висотних рівнів і, відповідно, можливості їхнього злиття.

- Розділення магнітного поля на внутрішню і зовнішню складові. Внутрішні та зовнішні коефіцієнти, при окремому використанні, не в змозі належним чином описати відповідні внески.

- Компроміс при одночасному виділенні H - і Z -компонент. Неповнота базисних функцій спричиняє теоретичну неможливість одночасного виділення їх [9].

Теоретичні обмеження R-SCHA. Існують дві основні проблеми, які важко розв'язати. Перша – розділення магнітного поля на внутрішню і зовнішню складові, оскільки і в SCHA вона не може бути розв'язана тільки за рахунок уточнення коефіцієнтів. Для цього необхідні виміряні магнітні дані на різних висотних рівнях. На сьогодні відсутність (або незначна кількість) аеромагнітних і супутникових магнітних даних не дає змоги з достатньою точністю вирішувати завдання регіонального геомагнітного моделювання.

Друга проблема – це швидкість збіжності ряду. Добре відомо, що Фур'є-подібні ряди сходяться повільно до рішення. Це не становить труднощів, якщо дані доступні в достатній кількості, але може бути проблемою в разі нерегулярно розподілених даних.

Рішення рівняння Лапласа для SCHA. Потенціал магнітного поля виглядає так:

$$V(r, \theta, \phi) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} G_k^{i,m} \psi_{i,k}^m(r, \theta, \phi) + G_k^{e,m} \psi_{e,k}^m(r, \theta, \phi), \quad (11)$$

Вираз (11) є подібним до рівняння сферичних гармонік. Ступінь v дискретного набору реальних значень за-

лежить від порядку m . Таким чином, інтерпретація індексів i та e , відносно реального розташування внутрішніх і зовнішніх джерел магнітного поля відносно сфери $S(a)$

не така проста, як у методі сферичних гармонік. Незважаючи на свою популярність і тісний взаємозв'язок з SH, кількома авторами (De Santis and Falcone, 1995) було помічено складність у коректному моделюванні радіальної залежності, особливо при розгляді конусів малої апертури (De Santis, 1991). Насправді, виникають проблеми, оскільки неповне встановлення граничних значень задачі призводить до неповного набору базисних функцій відносно відповідного функціонального простору. Математично це досить легко продемонструвати, якщо навести такий контр-приклад. Нижче наведено задачу Діріхле [5]:

$$\begin{aligned}\nabla^2(V) &= 0 \text{ on } \Omega, \\ V &= f \text{ on } \partial_{\theta_0}\Omega, \\ V &= 0 \text{ on } \partial_a\Omega \cup \partial_b\Omega\end{aligned}\quad (12)$$

матиме нульові рішення на сферичній кришці, хоч справжнім рішенням буде явно не нульова функція.

Рішення рівняння Лапласа для методу R-SCHA. В областях, вільних від джерел магнітного поля, таких як Ω , обмеженими мінімальним і максимальним радіусами $r = a$, $r = b$ і конусом C із кутом θ_0 (рис. 5), потенціал магнітного поля можна представити за допомогою базисних функцій при рішенні рівняння Лапласа [10].

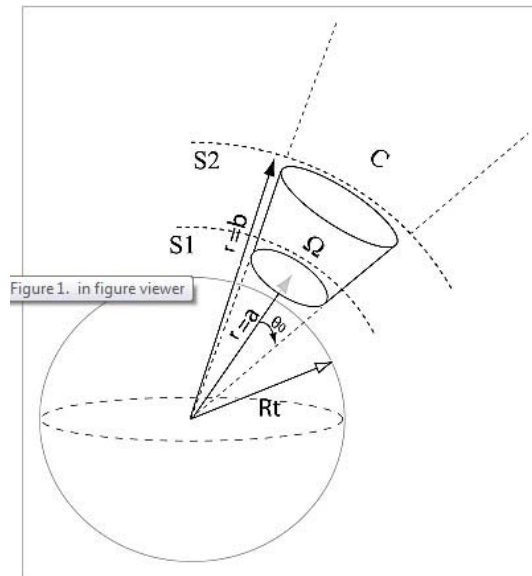


Рис. 5. Робоча область методу R-SCHA. Область обмежена поверхнями двох сфер (S1 і S2) з радіусами a і b [10]

Щоб вирішити крайову задачу, рівняння Лапласа може бути пов'язано з граничними умовами області Ω таким чином [10]:

$$\begin{aligned}\nabla^2 V &= 0 \\ V|_{\theta=\theta_0} &= F(r, \phi) \\ \frac{\partial V}{\partial r}\bigg|_{r=a} &= -G_a(\theta, \phi) \\ \frac{\partial V}{\partial r}\bigg|_{r=b} &= -G_b(\theta, \phi).\end{aligned}\quad (13)$$

Рішення крайової задачі (14) відбувається шляхом поділу на дві підзадачі. Незалежне рішення задач приводить до побудови повної базисної функції для потенціалу всередині досліджуваної області. Потенціал магнітного поля виглядає так [10]:

$$\begin{aligned}V(r, \theta, \phi) &= a \sum_{k>m} \sum_{m>0} \left(\frac{a}{r}\right)^{nk+1} \left(g_{nk}^{i,m} \cos(m\phi) + h_{nk}^{i,m} \sin(m\phi)\right) P_{nk}^m(\theta) + \\ &+ a \sum_{k>m} \sum_{m>0} \left(\frac{a}{r}\right)^{nk} \left(g_{nk}^{e,m} \cos(m\phi) + h_{nk}^{e,m} \sin(m\phi)\right) P_{nk}^m(\theta) + \\ &+ a \sum_{p>0} \sum_{m>0} R_p(r) \left(g_p^m \cos(m\phi) + g_p^m \sin(m\phi)\right) K_p^m(\theta).\end{aligned}\quad (14)$$

Якщо підсумувати викладене вище, то R-SCHA вважається більш точним при побудові регіональних моделей магнітного поля області, оскільки розв'язує низку проблем SCHA, таких як використання мультирівневих даних, що дозволяє розширити спектр доступних для моделювання магнітних хвиль. Для задачі моделювання магнітного поля літосфери краще підходить R-SCHA, хоч і виникають проблеми, наприклад, важко оцінити вплив джерел, роз-

ташованих поза сферою дослідження [9]. Крім того, відсутність вимірних даних характеристик магнітного поля між супутниковими висотами та земною поверхнею, а також їхня нерегулярність спричиняють неможливість побудови повної моделі магнітного поля, створюваного літосферними джерелами [10]. Але така супутникова місія, як Swarm, спрямована поліпшити спектральну характеристику регіональних моделей. Тому нині такі країни, як Франція, Китай та інші розвинуті країни використовують

даний метод для побудови регіональних моделей магнітного поля літосфери на національному рівні.

Приклад застосування методу SCHА. На рис. 6 наведено приклад застосування методу для території центральної Європи. Використано довжини магнітних хвиль

до 380 км. Розходження між горизонтальною та вертикальною складовими, а також неортогональність базисних функцій призводить до зростання помилок методу, що робить його нестабільним. Може використовуватись для продовження поля у верхній або нижній півпростір, проте метод R-SCHA в цьому відношенні набагато кращий [5].

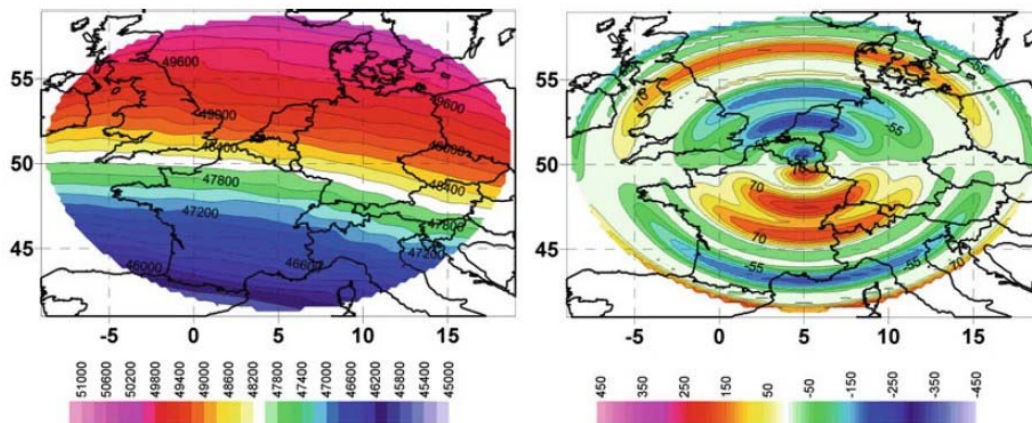


Рис. 6. Приклад застосування циліндричного гармонічного аналізу для Z-компоненти.
Отримана модель (ліворуч) та нев'язки між моделлю та даними (праворуч). Одиниці вимірювання – нТ [3]

Приклад застосування методу R-SCHA. Для прикладу було взято модель магнітного поля, що створюється літосферою (рис. 7) над територією Франції, побудовану Тебо, Мандела та Скотом. Використані дані: супутникові, аеромагнітні, наземні. При побудові моделі застосовувались 1166 локальних параметрів по щільній регулярній сітці даних з відстанню 16 км між точками. Модель добре

узгоджується з відомими геологічними особливостями, але були виявлені й "артефакти" в крайових зонах робочої області [10]. Уперше впроваджено метод R-SCHA до реальної ситуації. Результати говорять за себе – даний метод демонструє перевагу регіонального моделювання над глобальним при дослідженні дрібних деталей літосферних плит за умови достатнього покриття даними.

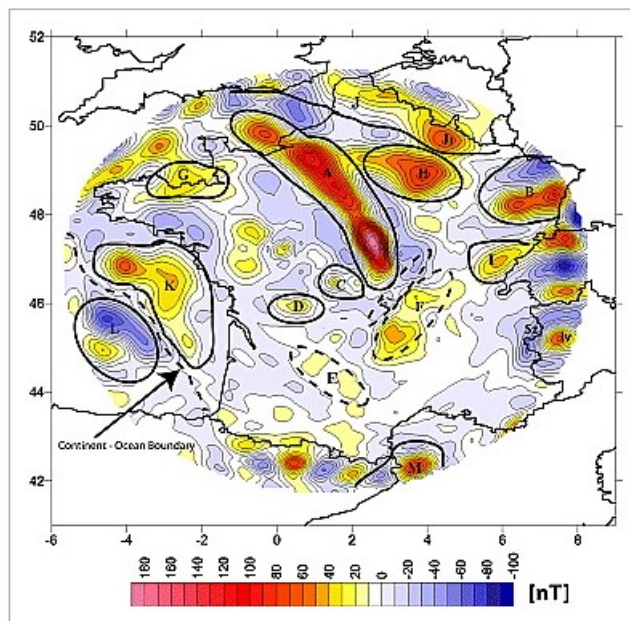


Рис. 7. Змодельована Z-компонента магнітного поля літосфери на території Франції.
Контурні лінії проводяться через кожні 10 нТл [3]

Функції Слєпіана. Останній з найпоширеніших підходів до моделювання аномалій регіонального типу. Добре відомо, що функції не можуть мати кінцевого носія в просторових і спектральних даних одночасно. Пошук і представлення сигналів, які оптимально подані в обох випадках, є фундаментальною задачею теорії даних, і ця задача була вирішена Слєпіаном, Полаком і Ландау. Функції Слєпіана можуть представлятися двома шляхами.

Перший полягає у використанні функцій з обмеженим спектром (до ступеня L, якщо говорити про сферичні гармоніки), і такий підхід можна порівняти з розв'язанням SH рівнянь. Другий підхід полягає в застосуванні концепції строго локалізованих просторових функцій, що дещо схоже на SCHA і R-SCHA [5].

Регіональні магнітні моделі магнітного поля загалом представлені у вигляді сферичних гармонік. Функції ж

Слепіана – це лінійні комбінації сферичних гармонік, які продукують нові базисні функції, значення яких прямує до нуля за межами вибраної ділянки моделювання. Комбінація лінійних сферичних гармонік є такою, що на досліджуваній ділянці з обмеженим частотним спектром функції максимізують просторову енергію у визначеному діапазоні частот, а також залишаються ортогональними за межами робочої області (на відміну від інших підходів), так як і в межах досліджуваної просторової області.

Жоден з описаних вище методів не намагається формально оптимізувати розподіл поля над довільними областями з неправильними межами. У цьому відношенні підхід з використанням функцій Слепіана є унікальним і підходить для вивчення внесків магнітного поля від різних регіонів, а також для оцінки їхніх спектральних характеристик.

Останні вдосконалення цього підходу, розроблені Платнером і Сімонсом, зробили можливим урахування відсутності даних у певних регіонах, або їхнього слабого просторового поширення. Наприклад, даний метод ефективний над океанами чи полярними областями, над якими практично відсутні супутникові дані. Нижче наведено побудоване магнітне поле над Антарктидою (рис. 8).

Тобто описаний метод – є досить гнучким і навіть унікальним методом, який дозволяє змінювати модель для дуже

специфічної геометрії, як, наприклад, територія країни. Обернена задача чисельно добре обумовлена завдяки ортогональності функцій, що дозволяє оцінити енергетичний спектр [11]. Особливу роль відіграє апіорна інформація, яка дозволяє уникати моделювання непотрібних сигналів, а також вибору оптимальної кількості функцій. Такий метод є дуже потужним інструментом для спектрального аналізу даних, отриманих з різних висотних рівнів [7].

Висновки. Глобальні методи моделювання безумовно відрізняються один від одного, але за достатньої кількості даних забезпечують аналогічний результат. Зрозуміло, що вони не еквівалентні з практичного погляду. Відмінності виникають унаслідок зовсім різних фундаментальних концепцій методів. Методи глобального моделювання погано підходять для використання на малих територіях, але краще дозволяють виконувати поділ на компоненти магнітного поля [1]. Водночас регіональні методи моделювання не можуть настільки добре виконати покомпонентний поділ поля. Грубо кажучи, при регіональному чи глобальному моделюванні необхідно мати сигнали з відповідними до області дослідження довжинами хвиль. Поліпшити результати, звісно, можна застосуванням апіорної інформації та регуляризації [4].

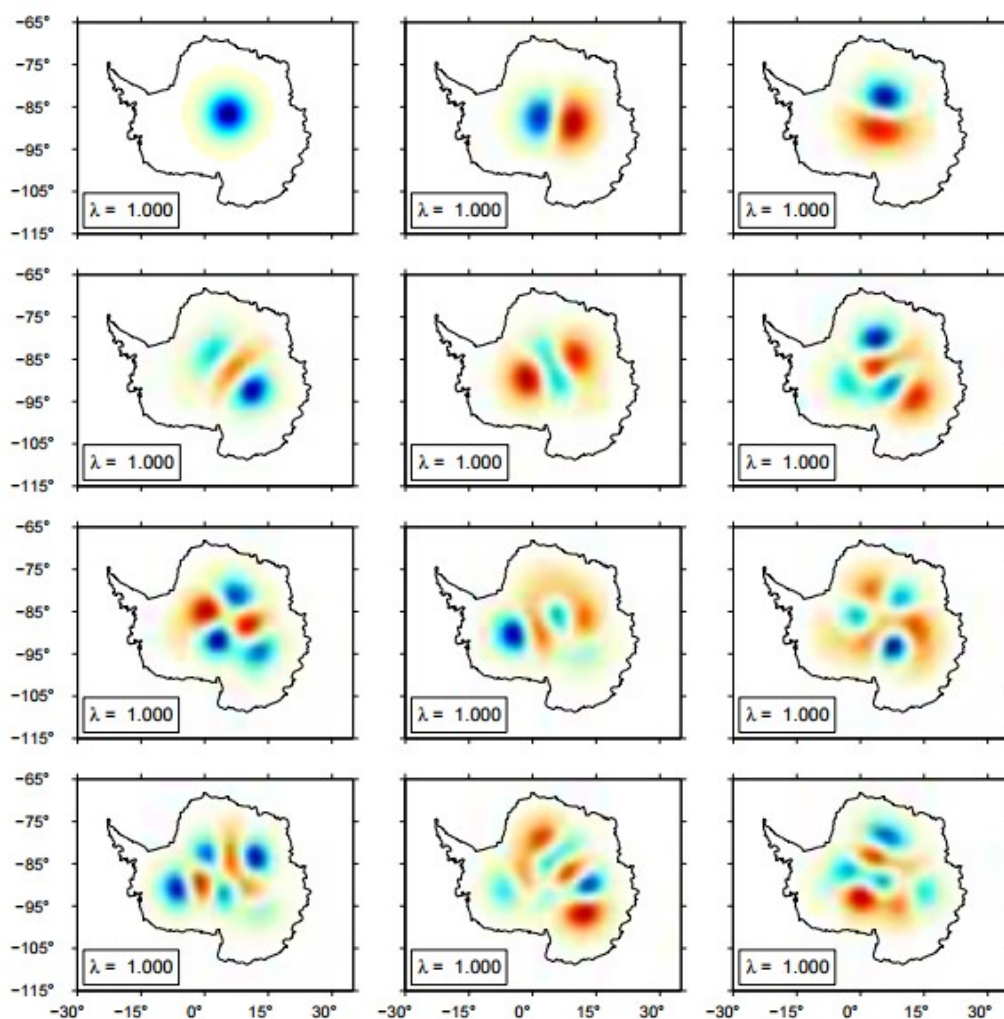


Рис. 8. Оптимально концентроване магнітне поле над Антарктидою зі ступенем до $L = 60$.

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{12}$ – коефіцієнти концентрації. Округлене число Шеннона становить $N_{3D} = 102$.

Порядок зміни коефіцієнта концентрації – зліва направо, зверху донизу. Позитивні значення відображено синім кольором, а негативні – червоним; знак власної функції довільний. Ділянки, абсолютні значення на яких становлять менше однієї соті від максимального значення на сфері, відображаються білим [3]

Кожен з описаних методів достатньо важкий при реалізації й вимагає адаптації при застосуванні на новій ділянці. Розуміння кожного підходу дозволяє вибрати найкращий для визначеного набору даних. Методам характерні особливості, пов'язані з реальною точністю даних, розподілом шуму, артефактів або відхилень.

Розвиток методів моделювання для науки є дуже важливим, що особливо актуально в наш час з двох простих причин. Перша – практична, оскільки найближчими роками стане доступна велика кількість супутникових даних високої якості, яка доповнюватиме і до того значний набір як наземних, супутникових, так і аеромагнітних даних. Проте обсяг приповерхневих даних великими темпами рости не буде, що є критичним для геомагнетизму. Крім того, не слід забувати, що потенціальні поля, і магнітне в тому числі, дають доступ до характеристик об'єкта напрямку, не взаємодіючи з ним. Друга причина – це порівняння надійності регіональної моделі шляхом зіставлення її з моделлю, отриманою в результаті аналізу сферичних гармонік. Відмінності ж між моделями сферичних гармонік залежать більше від типу самого підходу, ніж від магнітного поля.

Розвиток регіонального моделювання перебуває в зародковому стані. Дотепер регіональні моделі, як правило, або не були представлені у вигляді прототипів, або ж будувались у національних масштабах. Деяка робота ведеться в напрямку порівняння регіональних і глобальних моделей, установлюються відмінності та відповідності. Отже, необхідність розробки єдиного методу побудови регіональних моделей магнітного поля є одним із пріоритетних напрямів сучасного геомагнетизму [2]. Одним із найактуальніших питань є можливість визначати геомагнітний спектр поля і відокремити джерела в регіональному масштабі, що в свою чергу відкриє нові шляхи для визначення джерел магнітного поля в корі.

Список використаних джерел

1. Коваленко-Завойський В. Н. Математичне забезпечення інтерпретації поля ΔB_a регіональних магнітних аномалій / В. Н. Коваленко-Завойський, І. Н. Івашченко // Геофиз. журн. – 2006. – Т. 28, № 5 – С. 18–30.
2. Орлюк М. И. Пространственные и пространственно-временные магнитные модели разноранговых структур литосферы континентального типа / М. И. Орлюк // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22, № 6 – С. 148–165.
3. Geese A. Earth's Magnetic Field: Observation and Modelling From Global to Regional Scales / A. Geese // Scientific Technical Report STR 11/03. – 2011. – P. 229–264.
4. Geomagnetic Observations and Models / Edited by M. Manda, M. Korte // Springer Science+Business Media B. V. – 2011. – № 5 – P. 344.
5. Landstreet J. Observing and modelling stellar magnetic fields: basic physics and simple models / J. Landstreet // Stellar Magnetism. – 2008. – № 4. – P. 1–20.

K. Nikitchenko, Postgraduate student
Email: kostyanikitchenko@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kiev, 03022, Ukraine

6. Manda M. Observing, modeling, and interpreting magnetic fields of the solid Earth / M. Manda, M. Purucker // Surveys in Geophysics. – 2005. – № 26 (4). – P. 415–459.
7. Manda M. Geomagnetic field evolution. Changes on the way? / M. Manda, V. Lesur // Russian Journal of Earth Sciences. – 2010. – № 11. – P. 1–8.
8. Spectral and spatial decomposition of lithospheric magnetic field models using spherical Slepian functions / B. Ciaran, J. Saarimaki, F. Simons, K. Whaler // Geophysical Journal International. – 2013. – Vol. 193 – P. 136–148.
9. Thébault E. Applied comparisons between SCHA and R-SCHA regional modeling techniques / E. Thébault, L. Gaya-Piqué // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2008. – Vol. 9, Is. 7. – P. 25.
10. Thébault E. Modeling the lithospheric magnetic field over France by means of revised spherical cap harmonic analysis (R-SCHA) / E. Thébault, M. Manda, J. Schott // J. Geophys. Res. – 2006. – V. 111, Is. B5. – P. 13http://dx.doi.org/10.1029/2005JB004110.
11. The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere / E. Thébault, M. Purucker, K. Whaler, B. Langlais, T. Sabaka // Springer Science+Business Media B. V. – 2010. – Vol. 155, Is. 1. – P. 95–127.

References

1. Kovalenko-Zavoisky, V. N., Ivashchenko, I. N. (2006). Matematychnе zabezpechennia interpretatsii polia ΔB_a rehionalnykh mahnitnykh anomalii. *Heofyzicheskyi zhurnal*, 28, 5, 18–30. [in Ukrainian].
2. Orliuk, M. (2000). Prostranstvennoye i prostranstvenno-vremennyye magnitnye modeli raznorangovykh struktur litosfery kontinentalnogo tipa. *Heofyzicheskyi zhurnal*, 22, 6, 148–165. [in Russian].
3. Geese, A. (2011). Earth's Magnetic Field: Observation and Modelling From Global to Regional Scales. *Scientific Technical Report STR 11/03*, 229–264. <https://doi.org/10.2312/GFZ.b103-11036>.
4. Manda, M., Korte, M. (2011). Geomagnetic Observations and Models. *Springer Science+Business Media B. V.*, 5, 344. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9858-0>.
5. Landstreet, J. (2008). Observing and modelling stellar magnetic fields: basic physics and simple models. *Stellar Magnetism*, 4, 1–20. <https://doi.org/10.1051/eas/0939001>.
6. Manda, M., Purucker, M. (2005). Observing, modeling and interpreting magnetic fields of the solid Earth. *Surveys in Geophysics*, 26(4), 415–459. <https://doi.org/10.1007/s10712-005-3857-x>.
7. Manda, M., Lesur, V. (2010). Geomagnetic field evolution. Changes on the way? *Russian Journal of Earth Sciences*, 11, 1–8. <https://doi.org/10.2205/2009ES000333>.
8. Ciaran, B., Saarimaki, J., Simons, F., Whaler, K. (2013). Whaler and Frederik J. Simons. Spectral and spatial decomposition of lithospheric magnetic field models using spherical Slepian functions. *Geophysical Journal International*, 193, 136–148. <https://doi.org/10.1093/gji/ggs122>.
9. Thébault, E., Gaya-Piqué, L. (2008). Applied comparisons between SCHA and R-SCHA regional modeling techniques. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, 7, 25. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GC001953>.
10. Thébault, E., Manda, M., Schott, J. (2006). Modeling the lithospheric magnetic field over France by means of revised spherical cap harmonic analysis (R-SCHA). *J. Geophys. Res.*, 111, B5, 13. <http://dx.doi.org/10.1029/2005JB004110>.
11. Thébault, E., Purucker, M., Whaler, K., Langlais, B., Sabaka, T. (2010). The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere. *Springer Science+Business Media B. V.*, 155, 1, 95–127. <http://dx.doi.org/10.1007/s11214-010-9667-6>.

Надійшла до редколегії 14.06.17

MODERN APPROACHES ALLOCATION AND THE LITHOSPHERE MAGNETIC FIELD MODELING

This article aims to review the available and effective methods of determining the lithosphere magnetic field, problems of its extraction and interpretation. These methods will be briefly analyzed. The paper emphasizes the features of each technique, the scope of application and prospects of further development. In the recent years, a large amount of magnetic vector and scalar data have been measured or made available to scientists. They cover different ranges of altitudes from ground to satellite levels and have high horizontal densities over some geographical areas. Processing these potential field data may require alternatives to the widely used Spherical Harmonics. During the past decades, new techniques have been proposed to model regionally the magnetic measurements. They complement the set of older approaches that were revived and sometimes revised in the meantime. The amount of available techniques is intimidating and one often wonders which method is the most appropriate for what purpose. Regional modeling techniques can be divided into two groups. The first method is based on spherical splines, wavelets or other localized spherical functions. The second one includes methods based on a level approximation, such as rectangular and cylindrical harmonic analysis; methods that take into account the spherical shape of the Earth (SCHA, Revised-SCHA). Characteristics of each method and limits of their use were determined. Choice of optimal methods is based on existing data and prospects for further development of regional magnetic modeling. The problem of the separation of fields is solved at the entire stage of the development of geomagnetism, but has no unambiguous solution in connection with the ambiguity of the inverse problem of magneto-prospecting. In order to represent and further analyze the field (as a rule, its anomalous component associated with the lithosphere), the medium is approximated by a number of cells with positive or negative magnetization, the effect of which can be chosen from any type of magnetic anomaly. In spite of the fact that such an environment model is not geologic, it allows further transformation with the field (recalculations, averaging, etc.).

Keywords: regional modeling, spherical harmonics, spherical harmonic analysis, regional modeling of magnetic bodies.

К. Никитченко, асп.
Email: kostyanikitchenko@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫДЕЛЕНИЮ И МОДЕЛИРОВАНИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛИТОСФЕРЫ

Рассмотрены методики определения магнитного поля литосферы, проблемы его выделения и интерпретации. Кратко проанализированы методы моделирования региональных магнитных тел. За последние годы накопился большой объем векторных и скалярных магнитных данных, которые стали доступными для ученых всего мира. Они охватывают различные уровни от поверхности Земли до спутниковых высот и характеризуются значительной горизонтальной плотностью. Обработка таких данных требует альтернатив широко используемого метода сферических гармоник. Количество доступных методов значительно, поэтому часто трудно выбрать один наиболее подходящий. Региональные методы моделирования можно разделить на две группы. В первую входят методы, основанные на сферических сплайнах, вейвлет или других локализованных сферических функциях. Ко второй относятся методы, в основе которых лежит плоская аппроксимация, например прямоугольный гармонический анализ и цилиндрический гармонический анализ; методы, которые учитывают сферичность Земли (SCHA, Revised-SCHA). В статье выделены особенности каждой методики и границы ее применения. Описаны критерии определения оптимальной методики на основе существующих данных и перспективы дальнейшего развития регионального магнитного моделирования. Проблема разделения полей решается на всех этапах развития геомагнетизма, но однозначного решения не имеет в связи с неоднозначностью обратной задачи магниторазведки. С целью представления и дальнейшего анализа поля (как правило, его аномальной компоненты, связанной с литосферой) среда аппроксимируется множеством ячеек с положительной или отрицательной намагниченностью, что позволяет подобрать магнитные аномалии любого типа. Несмотря на то, что такая модель среды не является геологической, она позволяет в дальнейшем делать с полем любые преобразования (пересчеты, осреднения и т.д.).

Ключевые слова: региональное моделирование, сферические гармоники, сферический гармонический анализ, региональные методы моделирования магнитных тел.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 551.7:553.041

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vladvam@gmail.com,

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

E-mail: zagnitkow@i.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, УкраїнаГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЙКОПСКОЙ СЕРИИ
КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

(Рекомендовано членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, доц. С. Е. Шнюковым)

Изучены геохимические особенности пород майкопской серии по разрезам скважин северо-западного шельфа Черного моря (скв. Архангельская-21, Голицына-1, 6, 7, 9, 12, 28), центральной части Крымского полуострова (скв. Джанкойская-1), Керченского полуострова (скв. Фонтановская-6, 12), шельфа Азовского моря (скв. Северокавказская-3), Прикерченской части шельфа Черного моря (Субботина-1).

В результате проведенных исследований установлено высокое содержание $C_{орг.}$ (2,26–16,70 %) и ТОС (1,5–10,2 %) в породах майкопской серии, они, как правило, являются термально незрелыми и не могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти. Исключением являются породы в скв. Голицына-1, 9, где отраженная способность витрификации достигает значений, характерных для нижней части зоны образования нефти (0,8–1,8), что свидетельствует о благоприятных термальных условиях на нижних горизонтах распространения майкопских отложений и об их возможном нефтегенерационном потенциале. Это подтверждается анализом компонентного состава газов из скважин Голицына-1, Архангельская-21, Джанкойская-1, Северокавказская-3, Субботина-1. Здесь на значительных глубинах развиты средне- и высокогазонасыщенные породы со средним коэффициентом восстановленности, со значительными примесями гомологов, несколько обогащенные сероводородом, что указывает на их перспективность по газонефтеосодержанию, несмотря на их термическую незрелость. Это противоречие может быть следствием миграции газонефтяных компонентов из нижних горизонтов толщи в вышезалегающие горизонты.

Таким образом, на глубинах более 2000 м отложения майкопской серии, при подтверждении значительных объемов пород, обогащенных органическим веществом, могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти. В плане оценки перспектив сланцевой нефти в Причерноморско-Крымском регионе можно отметить, что обнаруженные нефтяные залежи являются индикатором того, что залегающие глубже черносланцевые отложения альба и майкопской серии имеют достаточный нефтегенерационный потенциал и оптимальную степень термальной зрелости, которая соответствует главной зоне нефтеобразования, а, следовательно, эти толщи в условиях их широкого распространения в разрезе и по латерали могут быть перспективными для поисков сланцевой нефти.

Ключевые слова: геохимические особенности, майкопская серия, сланцевая нефть.

Постановка проблемы. Отложения олигоцен-миоценовой майкопской серии широко развиты на южном обрамлении Восточноевропейской платформы. Считается, что серия является основной нефтегазогенерирующей толщей региона, с которой связано значительное количество месторождений нефти и газа, и которая является основным источником кайнозойской нефти региона. В то же время уровень известной нефтеносности серии намного ниже ее нефтегенерационного потенциала. Это противоречие издавна было предметом исследований, однако ответа на него не получено по сей день. Этим обстоятельством определяется актуальность изучения майкопской серии, в частности, геохимических особенностей составляющих ее пород.

Анализ последних исследований и публикаций. Майкопская серия издавна была объектом пристального внимания геологов. Особенности ее состава и строения посвящено значительное количество научных трудов, в том числе работ, где рассматриваются геохимические особенности пород и органического вещества (ОВ) майкопской серии [4, 6–10, 13–18 и др.]. Так, Н. П. Фадеева и др. [10] для майкопских отложений Западно-Кубанского прогиба выделили катагенетические зоны (от МК₁ до МК₃), определили типы керогена (I и II типы), показали, что среднее содержание $C_{орг.}$ здесь колеблется от 1,0 % до 3,64 %. Кроме того, ими были определены [9] типы органического вещества в породах майкопской серии, типы биопродуктов при ее формировании, состав керогена, генерационный потенциал отложений. М. Л. Сен-Жермес и др. [6, 17, 18] на основании изучения петрографического состава и геохимических особенностей органического вещества разрезов майкопской серии Предкавказья (в том числе на р. Белой, в Азербайджане и других местах) определили нефтегенерационный потенциал отложений нижнего, среднего и верхнего майкопа. Ю. А. Петриченко

[7, 8] изучил нефтегазогенерационные свойства майкопской серии в Индоло-Кубанском прогибе, установил характер распределения основных геохимических параметров по разрезам скважин и по площади этого района, определил факторы, влияющие на нефтегазогенерационный потенциал отложений.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Несмотря на значительное количество научных работ, посвященных майкопской серии, она изучалась преимущественно с точки зрения традиционных типов месторождений углеводородов, а геохимические исследования проводились в основном на примере традиционных коллекторов – песчаников и алевролитов. Только в отдельных работах рассмотрены возможности майкопской серии как нетрадиционного источника углеводородов на территории Азербайджана [11, 12]. Таким образом, нерешенной остается проблема генерационных свойств майкопской серии южного обрамления Восточноевропейской платформы не только в отношении традиционных, но и нетрадиционных источников углеводородов.

Изложение основного материала исследований. Нами изучены геохимические особенности пород майкопской серии по разрезам скважин северо-западного шельфа Черного моря (скв. Архангельская-21, Голицына-1, 6, 7, 9, 12, 28), центральной части Крымского полуострова (скв. Джанкойская-1), Керченского полуострова (скв. Фонтановская-6, 12), шельфа Азовского моря (скв. Северокавказская-3), Прикерченской части шельфа Черного моря (Субботина-1) [2, 3, 5].

Методика измерений. Определение $C_{орг.}$, H_2O^- , $U \times 10^{-4}$ проводилось по следующей методике и методу измерений: $C_{орг.}$ – НСАМ 118-Х, гравиметрический; H_2O^- – НСАМ 120-Х, гравиметрический; U – НСАМ 421-Х, лазерно-люминесцентный. Нижняя граница определения: $C_{орг.}$ – 0,1 %; H_2O^- – 0,05 %; $U \times 10^{-4}$ – $0,3 \times 10^{-6}$ %.

Степень термического преобразования пород устанавливалась по отражательной способности витринита (R_o), которая зависит от коэффициентов преломления (μ) и поглощения (k) витринитом света в соответствии с уравнением Бира:

$$R_o = \frac{(\mu - \mu_0)^2 + \mu k^2}{(\mu - \mu_0)^2 + \mu^2 k^2}, \quad (1)$$

где μ_0 является коэффициентом преломления иммерсионной жидкости.

Отражательная способность витринита в образцах замерялась с использованием микроскопа вертикального металлографического МИМ-7 в иммерсионной жидкости ($\mu_0 = 1,515$) в свете лампы накаливания $\lambda = 546$ нм при увеличении в 722 раза. По данным замеров для изучения поведения и средней величины отражения витринита в исследуемых образцах строились гистограммы распределения и подсчитывалось среднее арифметическое.

Термический анализ проб проводился с помощью прибора STA F3 Jupiter фирмы NETZSCH (дериватограф) при постоянном обдуве аргоном. Определялись потери массы образцов при увеличении температуры от 25 °C до 800 °C в процентах и в миллиграммах со скоростью нагрева 20 °C/мин в атмосфере аргона. Масса навесок ~ 300 мг. Точность измерения температуры – 1 °C, изменения массы – 1×10^{-2} мг. При снятии кривых ТГ и ДТА использовался файл коррекции, калибровки по температуре и чувствительности для заданной температурной программы и скорости нагрева. В результате оценены потери воды, углекислоты и углеводородов, находящихся как в свободном, так

и в связанном состоянии. Количество ОВ выражается значением ТОО, которое характеризует общий объем Сорг. в породе. Для сланцев значения ТОО 1–2 % считаются хорошими, а выше 4 % – очень хорошими.

Газ-пирохроматографический анализ осуществлялся на газовом хроматографе ЛХМ-8Мд с детектором теплопроводности; газ-носитель – гелий, сорбент – Полисорб-1, температура пиролиза – 250, 450, 650, 850 и 1050 °C. Для проведения анализа газов используется навеска пород массой около 50 мг в измельченном состоянии. Крупность фракции зависит от задач исследования. Проба прогревается до температуры 800–1050 °C. Газ высвобождается, в потоке инертного газа подается на газовый хроматограф, регистрируется в различных диапазонах температур (до 50, 50–250, 250–450, 450–650, 650–850, 850–1050 °C). Определены следующие газовые компоненты: H_2 , N_2 , CO , CH_4 , CO_2 , H_2O , C_2H_4 , C_2H_6 , NO , H_2S , SO_2 , COS , CS_2 , C_3H_6 , C_3H_8 , N_2O , NH_3 , F_2 , O_2 .

Результаты исследований. Как видно из табл. 1, все породы характеризуются значительным содержанием Сорг., которое колеблется от 2,20 % в скв. Голицына-1 до 16,70 % в скв. Джанкойская-1. Однако эти показатели существенно меняются в разных районах. Так, средний показатель содержания Сорг. на СЗ шельфе Черного моря (скв. Архангельская-21, Голицына-1, 6, 7, 9, 12) составляет 3,18 %, в то время, как для центральной части Крымского полуострова (скв. Джанкойская-1) этот показатель достигает 7,18 %, для Керченского полуострова (скв. Фонтановская-6, 12) – 3,61 %, для шельфа Азовского моря (скв. Североказантипская-3) – 5,16 % и для Прикерченской части Черного моря (скв. Субботина-1) – 5,45 %.

Таблица 1. Результаты определения элементов в породах майкопа Азово-Черноморского региона

Скважина	№ проб	Интервал, м	Порода	Сорг., %	H_2O , %	$U \cdot 10^{-4}$, %	$CO_{2карб.}$, %
СЗ шельф Черного моря							
Архангельская-21	171АХ	867	Аргиллит	3,84	3,20	2,3	0,71
Архангельская-21	172АХ	872	Алевролит	3,46	3,40	2,3	0,05
Архангельская-21	173АХ	877	Алевролит	2,26	1,86	2,3	0,05
Архангельская-21	174АХ	878	Алевролит	2,62	2,18	2,5	0,66
Голицына-1	165ГЛ	1034	Мергель	2,20	0,46	2,2	22,00
Голицына-6	162ГЛ	1812	Мергель	4,42	0,90	3,4	9,07
Голицына-7	163ГЛ	570	Аргиллит	3,36	3,20	2,3	0,22
Голицына-9	164ГЛ	2100	Аргиллит	3,60	3,24	2,5	1,15
Голицына-12	161ГЛ	2710	Аргиллит	2,90	0,76	1,6	16,0
Центральная часть Крымского полуострова							
Джанкойская-1	166ДЖ	845	Алевролит	5,24	4,0	4,0	1,43
Джанкойская-1	167ДЖ	866	Аргиллит	4,84	3,22	2,3	0,05
Джанкойская-1	168ДЖ	876	Мергель	16,70	1,34	1,9	14,85
Джанкойская-1	169ДЖ	885	Аргиллит	4,80	2,82	2,4	0,82
Джанкойская-1	170ДЖ	892	Песчаник	4,32	2,50	3,0	0,11
Керченский полуостров							
Фонтановская-6,12	180ФН	3292	Аргиллит	4,02	1,40	1,8	1,2
Фонтановская-6,12	179ФН	3695	Песчаник	3,20	1,70	1,6	1,15
Шельф Азовского моря							
Сев.Казантипская-3	151ПК	1042	Алевролит	4,88	3,16	2,4	0,5
Сев.Казантипская-3	152ПК	1100	Глина	6,26	2,52	2,4	2,58
Сев.Казантипская-3	155ПК	1420	Алевролит	4,96	2,82	2,9	0,1
Сев.Казантипская-3	156ПК	1550	Алевролит	7,36	2,02	2,2	3,74
Сев.Казантипская-3	158ПК	2250	Аргиллит	3,86	2,16	2,3	0,16
Сев.Казантипская-3	159ПК	2587	Алевролит	5,76	1,50	2,0	2,91
Сев.Казантипская-3	157ПК	2590	Алевролит	4,66	1,00	2,0	2,25
Сев.Казантипская-3	160ПК	2597	Алевролит	3,52	1,24	1,9	0,11
Прикерченская часть шельфа Черного моря							
Субботина-1	176СБ	1363	Аргиллит	5,62	3,54	3,7	1,37
Субботина-1	178СБ	1960	Аргиллит	3,56	2,26	3,1	0,11
Субботина-1	177СБ	2330	Аргиллит	7,18	3,54	3,9	0,11

Содержание органического вещества (ТОС) также меняется в широких пределах – от 0,69 % (скв. Голицына-1) до 10,23 % (скв. Голицына-1), что в целом коррелируется с содержанием $C_{орг}$. По районам ТОС изме-

няется следующим образом (табл. 2): СЗ шельф Черного моря – 2,98 %, центральная часть Крымского полуострова – 6,78 %, Керченский полуостров – 3,42 %, шельф Азовского моря – 5,96 %, Прикерченская часть шельфа Черного моря – 6,09 %.

Таблица 2. Результаты термического анализа пород майкопской серии

Скважина	№ пробы	Интервал, м	< 120 °С	120–300 °С	300–390 °С	390–550 °С	ТОС, %
СЗ шельф Черного моря							
Архангельская-21	171АХ	867	2,65717	1,21605	0,37197	2,49372	4,08174
Архангельская-21	172АХ	872	2,77925	1,26635	0,44985	3,061	4,77720
Архангельская-21	173АХ	877	1,23526	0,40736	0,16992	1,32142	1,89870
Архангельская-21	174АХ	878	1,83361	0,40274	0,3087	1,86669	2,57813
Голицына-7	163ГЛ	570	3,26824	0,81681	0,55893	2,86668	4,24242
Голицына-1	165ГЛ	1034	0,31816	0,12233	0,06937	0,50347	0,69517
Голицына-6	162ГЛ	1812	1,34529	0,42096	0,32277	2,2451	2,98883
Голицына-9	164ГЛ	2100	2,75152	1,05531	0,23921	2,68154	3,97606
Голицына-12	161ГЛ	2710	1,03429	0,30451	0,11168	1,14303	1,55922
Центральная часть Крымского полуострова							
Джанкойская-1	166ДЖ	845	2,57218	2,41294	0,68067	3,8666	6,96021
Джанкойская-1	167ДЖ	866	1,85152	1,47429	0,86969	3,24164	5,58562
Джанкойская-1	168ДЖ	876	1,13313	0,49954	0,36499	9,3634	10,22793
Джанкойская-1	169ДЖ	885	2,30362	1,49872	0,61186	3,93461	6,04519
Джанкойская-1	170ДЖ	892	2,41542	1,38834	0,6627	3,03939	5,09043
Керченский полуостров							
Фонтановская-6,12	180ФН	3292	1,37672	0,47521	0,21142	3,21077	3,8974
Фонтановская-6,12	179ФН	3695	1,36006	0,61568	0,25612	2,0656	2,9374
Шельф Азовского моря							
Сев.Казантипская-3	151ПК	1042	3,09216	1,69517	0,98341	3,95018	6,62876
Сев.Казантипская-3	152ПК	1100	2,21900	1,03713	0,70523	4,50244	6,24480
Сев.Казантипская-3	155ПК	1420	3,40456	1,42931	0,57324	3,39096	5,39351
Сев.Казантипская-3	156ПК	1550	1,86111	0,72304	0,44924	6,47368	7,64596
Сев.Казантипская-3	158ПК	2250	2,33990	0,89911	0,39072	3,38226	4,67209
Сев.Казантипская-3	159ПК	2587	1,91056	0,41764	0,45232	5,20013	6,07009
Сев.Казантипская-3	157ПК	2590	1,29525	0,27539	0,43391	5,81590	6,52520
Сев.Казантипская-3	160ПК	2597	1,37545	0,84138	0,55624	3,08936	4,48698
Прикерченская часть шельфа Черного моря							
Субботина-1	176СБ	1363	2,32715	1,94168	0,53414	4,03800	6,51382
Субботина-1	178СБ	1960	2,66655	1,68535	0,54945	3,54330	5,77810
Субботина-1	177СБ	2330	2,17382	1,74700	0,46576	3,76931	5,98207

Однако термальная зрелость пород, судя по измерениям отражательной способности витринита (табл. 3), незначительна и колеблется от 0,37 в скв. Североказантипской-3 до 1,64 в скв. Голицына-1. В среднем по районам она составляет: СЗ шельф Черного моря – 0,75,

центральная часть Крымского полуострова – 0,47, Керченский полуостров – 0,60, шельф Азовского моря – 0,43, Прикерченская часть шельфа Черного моря – 0,53.

Таблица 3. Результаты замеров отражательной способности витринита в породах майкопской серии

Скважина	Проба	Глубина, м	Количество замеров	Среднее
СЗ шельф Черного моря				
Архангельская-21	171АХ	867	5	0,42
Архангельская-21	172АХ	872	12	0,43
Архангельская-21	174АХ	878	9	0,43
Голицына-1	165ГЛ	1034	7	1,64
Голицына-9	164ГЛ	2100	3	0,84
Центральная часть Крымского полуострова				
Джанкойская-1	166ДЖ	845	6	0,57
Джанкойская-1	167ДЖ	866	7	0,36
Джанкойская-1	168ДЖ	876	–	–
Джанкойская-1	169ДЖ	885	18	0,51
Джанкойская-1	170ДЖ	892	14	0,46
Керченский полуостров				
Фонтановская-6,12	180ФН	3292	6	0,59
Фонтановская-6, 12	179ФН	3695	30	0,60
Шельф Азовского моря				
Сев.Казантипская-3	155ПК	1420	11	0,37
Сев.Казантипская-3	159ПК	2587	17	0,52
Сев.Казантипская-3	157ПК	2590	20	0,37
Сев.Казантипская-3	160ПК	2597	10	0,44
Прикерченская часть шельфа Черного моря				
Субботина-1	176СБ	1363	6	0,51
Субботина-1	178СБ	1960	11	0,50
Субботина-1	177СБ	2330	18	0,59

Рассмотрим результаты исследований, в том числе результаты газ-пирохроматографического анализа по районам.

Северо-западный шельф Черного моря разбурен многочисленными скважинами, из которых нами изучены разрезы скв. Архангельская-21 и Голицына-1, 6, 7, 9, 12, 28. Содержание $S_{орг.}$ составляет от 2,20 до 4,42 %. Отражательная способность витринита в скв. Архангельская-21 составляет 0,42–0,43. Итак, породы майкопской свиты в скв. Архангельская-21 в интервале глубин 867–878 м хотя и содержат значительное количество $S_{орг.}$, но являются термально незрелыми и не могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти.

В скв. Голицына-1, 9 величины отражательной способности витринита ($R = 1,0–1,8$) на глубине 1034–2110 м достигают значений, характерных для нижней части зоны образования нефти. Если эти результаты будут подтверждены большим количеством замеров, то, исходя из них, породы майкопской серии, залегающие

на глубинах около 2000 м, могут генерировать нефтяные углеводороды и при наличии достаточных объемов пород, обогащенных рассеянным органическим веществом, могут рассматриваться как перспективные объекты для поисков сланцевой нефти.

Анализ компонентного состава газов из скв. Голицына-1 и Архангельская-21 (табл. 4) подтверждает такой вывод. В частности, порода обр. 165 ГЛ среднегазонасыщена, преобладание CO_2 вызвано диссоциацией значительного количества карбонатов выше 650 °C, скорее всего это был кальцит. В таком случае коэффициент восстановленности не является показательным, а наличие (хотя и в небольших количествах) гомологов может свидетельствовать об определенной перспективности газо- и нефтеносности таких толщ. В то же время породы, расположенные на меньших глубинах (обр. 175 АХ, табл. 5), несмотря на среднюю насыщенность восстановительными газами, содержат очень малое количество метана и совсем небольшие примеси тяжелых углеводородов. Поэтому их перспективность к газогенерации меньше.

Таблица 4. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Голицына-1. Обр. 165 ГЛ (1034 м). Навеска 0,250 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	487,53	–	–	24,74	19,14	43,88	0,004388
N ₂	73,92	1,05	–	5,25	86,17	92,47	0,009247
CO	1654,52	1,05	18,90	88,20	1960,00	2068,15	0,206815
CH ₄	99,47	–	8,55	54,64	8,13	71,32	0,007132
CO ₂	44938,60	50,65	299,08	5137,24	83356,65	88843,62	8,884362
H ₂ O	11,63	4950,4	960,96	3768,80	1948,13	11628,29	1,162829
C ₂ H ₄	12,74	–	2,77	13,28	0,00	16,05	0,001605
C ₂ H ₆	18,47	–	6,50	18,56	0,00	25,06	0,002506
H ₂ S	102,84	–	0,00	122,81	35,46	158,27	0,015827
COS	46,08	–	–	–	125,34	125,34	0,012534
CS ₂	9,60	–	–	15,68	–	15,68	0,001568
Сумма	47265,67	5003,15	1287,49	9078,87	87378,22	102747,72	10,274772

Примечание. Анализом не выявлено: C₃H₆, C₃H₈, C_nH_m, NO, N₂O, NH₃, SO₂, F₂, O₂.

Таблица 5. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Архангельская-21. Обр. 175 АХ (881 м). Алевролит. Навеска 0,210 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	1558,10	–	–	21,03	119,19	140,23	0,014023
N ₂	21,80	1,50	–	3,25	22,52	27,27	0,002727
CO	355,80	1,25	96,00	190,00	157,50	444,75	0,044475
CH ₄	50,91	–	11,06	19,91	5,53	36,51	0,003651
CO ₂	4857,69	205,82	2205,20	2958,65	4233,99	9603,66	0,960366
H ₂ O	76,26	48000,00	5912,00	18400,00	3946,67	76258,67	7,625867
C ₂ H ₄	11,24	–	8,78	5,38	–	14,16	0,001416
C ₂ H ₆	6,08	–	3,09	5,16	–	8,25	0,000825
H ₂ S	1641,71	24,62	13,19	1785,24	703,54	2526,60	0,252660
C ₃ H ₈	10,29	–	20,77	–	–	20,77	0,002077
Сумма	6920,56	48208,57	8224,26	21592,85	8485,40	86511,08	8,651108

Примечание. Анализом не выявлено: C_nH_m, NO, N₂O, NH₃, SO₂, COS, CS₂, C₃H₆, F₂, O₂.

В центральной части Крымского полуострова нами изучен разрез скв. Джанкойская-1. Содержание $S_{орг.}$ составляет от 4,32 до 16,7 %. Отражательная способность витринита – 0,36–0,57. Итак, породы майкопской свиты в скв. Джанкойская-1 в инт. 845–892 м вмещают значительное количество $S_{орг.}$, но являются термально незрелыми и по этому показателю не могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти. В то же время, по данным газохроматогра-

фического анализа (табл. 6) порода хорошо газонасыщена, имеет средний коэффициент восстановленности, содержит существенные примеси гомологов, несколько обогащена сероводородом, азотом, что указывает на ее перспективность по газонефте- и газонефтеносности. Такое противоречие можно объяснить миграцией газонефтяных составляющих из нижних горизонтов в вышележающие толщи, хотя сами они и не соответствуют благоприятным условиям газонефтегенерации.

Таблица 6. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Джанкойская-1. Обр. 168 ДЖ (876 м). Навеска 0,185 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °С					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	3081,87	–	2,79	95,51	179,08	277,37	0,027737
N ₂	105,79	0,57	–	1,14	130,64	132,35	0,013235
CO	1412,79	4,26	195,24	295,14	1271,35	1765,99	0,176599
CH ₄	582,32	-	43,95	298,86	74,72	417,53	0,041753
CO ₂	9397,03	229,46	3129,00	8711,15	6508,33	18577,94	1,857794
H ₂ O	81,03	43286,49	9762,16	21310,27	6674,59	81033,51	8,103351
C ₂ H ₄	45,60	–	19,73	37,39	0,33	57,46	0,005746
C ₂ H ₆	72,84	–	20,91	77,77	0,17	98,84	0,009884
NO	0,23	0,30	–	–	–	0,30	0,000030
H ₂ S	286,22	84,85	43,67	175,70	136,26	440,49	0,044049
CS ₂	12,11	–	19,77	–	–	19,77	0,001977
C ₃ H ₆	10,81	–	12,42	8,28	–	20,70	0,002070
C ₃ H ₈	35,03	–	47,15	23,57	–	70,72	0,007072
C _n H _m	44,11	–	–	119,09	–	119,09	0,011909
Сумма	14660,85	43520,77	13133,14	30712,05	14838,71	102204,68	10,220468

Примечание. Анализом не выявлено: N₂O, NH₃, SO₂, COS, F₂, O₂.

На Керченском полуострове изучены разрезы скв. Фонтановская-6, 12. Содержание С_{орг.} составляет от 3,20 до 4,02 %. Несмотря на большие глубины, величины отражательной способности витринита, замеренные на двух образцах, свидетельствуют, что породы являются термально незрелыми. Однако этот вывод требует дополнительной проверки, поскольку по данным пиролиза Rock-Eval породы майкопской свиты Керченского полуострова с глубин 4010–4604 м (скв. Поворотная-4, 5 – 11 образцов) и 3818–4259 м (скв. Самарлинська-1 – 5 образцов) размещаются ниже "нефтяного окна" (T_{max} > 454 °C). Итак, в районе Керченского полуострова породы, находящиеся в зоне генерации нефти, можно ожидать в интервале глубин между 2 и 4 км. Если в этом интервале глубин удастся найти существенные объемы пород майкопской серии с высоким содержанием С_{орг.} и нефтегенерационным потенциалом, они могли бы рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти.

На шельфе Азовского моря разрез майкопской серии изучен в скв. Северокавказская-2 и 3, которые пробурили Северокавказскую структуру в южной части Азовского моря, приуроченной к северному борту Индоло-Кубанского прогиба. Содержание С_{орг.} составляет от 3,52 до 7,36 %. Отражательная способность витринита – 0,37–0,52. Итак, породы майкопской свиты

здесь, в интервале глубин 845–892 м, хотя и содержат значительное количество С_{орг.}, но являются термально незрелыми и не могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти.

Такой же вывод можно сделать и для больших глубин. В частности, образцы, отобранные на глубине 1209 м (табл. 7) характеризуют породу среднегазонасыщенную, с высоким коэффициентом восстановленности, с небольшим содержанием гомологов и сероводорода. Последний, скорее всего, появляется в результате диссоциации и восстановления сульфатов, поскольку фиксируется только на высокотемпературной стадии пиролиза. На этой же стадии резко (почти вдвое) увеличивается и количество CO₂ и CO, что может быть следствием декарбонизации и частичного восстановления продуктов этого процесса. Вообще проба характеризует среднегазонасыщенные отложения с небольшой вероятностью контакта с нефтеносными компонентами. На более глубоких горизонтах содержание метана и его гомологов, а также битумных составляющих растет, что может свидетельствовать о лучших перспективах нефтеносности (табл. 8). Высоким также является содержание серных компонентов, но, учитывая их высокотемпературную мобилизацию, можно значительную их часть связывать с минеральной десульфуризацией.

Таблица 7. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Северокавказская-3. Обр. 153 ПК (1209 м). Глина алевролитистая. Навеска 0,220 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	3078,65	–	5,02	61,24	210,82	277,08	0,027708
N ₂	99,46	2,15	–	2,87	119,41	124,43	0,012443
CO	1842,85	8,83	229,09	515,45	1550,18	2303,56	0,230356
CH ₄	196,46	-	22,81	69,48	48,57	140,86	0,014086
CO ₂	4739,81	438,53	2778,55	2111,98	4041,53	9370,61	0,937061
H ₂ O	108,81	61052,73	8349,09	31920,00	7483,64	108805,45	10,880545
C ₂ H ₄	12,64	–	10,48	5,45	0,00	15,93	0,001593
C ₂ H ₆	9,33	–	6,33	6,33	0,00	12,66	0,001266
H ₂ S	34,36	–	–	–	52,89	52,89	0,005289
C _n H _m	19,78	–	53,41	–	–	53,41	0,005341
Сумма	10066,04	61502,24	11384,56	34681,02	13454,16	121021,99	12,102199

Примечание. Анализом не выявлено: NO, N₂O, NH₃, SO₂, COS, CS₂C₃H₆, C₃H₈, F₂, O₂.

Таблица 8. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Североказантипская-3. Обр. 155 ПК (1420 м). Алевролит. Навеска 0,235 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	2048,48	–	1,10	42,29	140,97	184,36	0,018436
N ₂	114,38	1,57	–	7,38	134,15	143,09	0,014309
CO	1199,59	14,30	187,66	225,19	1072,34	1499,49	0,149949
CH ₄	141,22	0,22	28,37	34,60	38,06	101,25	0,010125
CO ₂	5243,20	420,81	1970,61	3836,11	4138,27	10365,80	1,036580
H ₂ O	97,09	5276,6	18015,32	27165,96	6634,21	97092,09	9,709209
C ₂ H ₄	14,64	–	14,72	3,73	–	18,45	0,001845
C ₂ H ₆	12,42	–	11,52	5,33	–	16,85	0,001685
H ₂ S	2057,11	–	19,25	1760,35	1386,28	3165,89	0,316589
COS	23,83	–	–	64,82	–	64,82	0,006482
CS ₂	13,62	–	22,24	–	–	22,24	0,002224
C ₃ H ₆	10,21	–	19,56	–	–	19,56	0,001956
C ₃ H ₈	4,60	–	9,28	–	–	9,28	0,000928
C _n H _m	17,36	–	46,88	–	–	46,88	0,004688
Сумма	8843,96	45713,49	20203,05	31311,53	12158,01	109386,08	10,938608

Примечание. Анализом не выявлено: NO, N₂O, NH₃, SO₂, F₂, O₂.

Тенденция повышения содержания углеводородов с глубиной не всегда выдерживается, в частности, это можно наблюдать на примере пробы, отобранной на глубине 2250 м (обр. 158 ПК, табл. 9).

Таблица 9. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Североказантипская. Обр. 158 ПК (2250 м). Аргиллит. Навеска 0,320 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–1050	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	2393,93	–	–	31,06	108,70	75,69	0,021545
N ₂	579,73	1,97	–	13,96	183,90	525,42	0,072524
CO	5531,40	3,94	111,56	288,75	997,50	5512,50	0,691425
CH ₄	88,67	0,13	16,26	16,26	30,49	0,44	0,006358
CO ₂	4549,69	195,97	781,47	3820,51	3328,48	868,30	0,899473
H ₂ O	93350	37800,00	13650,00	34125,00	6685,00	1087,80	9,334780
C ₂ H ₄	8,01	–	8,41	1,68	–	–	0,001009
C ₂ H ₆	6,96	–	7,25	2,20	–	–	0,000945
NO	0,66	0,88	–	–	–	–	0,000088
H ₂ S	1277,06	–	83,97	1373,56	507,87	–	0,196540
SO ₂	22,50	–	–	65,84	–	–	0,006584
Сумма	13236,76	38002,0	14559,29	38295,54	11334,07	8070,14	11,026105

Примечание. Анализом не выявлено: CS₂, COS, C₃H₆, C₃H₈, C_nH_m, N₂O, NH₃, F₂, O₂.

Проба достаточно газонасыщена и большая часть газов – восстановительные (KB = 2,1). Значительную часть этих газов составляет CO, что может быть результатом диссоциации сидерита и восстановления углекислоты в связи с окислением железа. Об этом свидетельствует тот факт, что наибольшее количество CO выделяется при температурах, превышающих 850 °C, а максимальное количество CO₂, наоборот, обычно выделяется именно в диапазоне диссоциации сидерита – 450–650 °C, а при более высоких температурах падает. Принимая во внимание эти обстоятельства, можно говорить о средней перспективности газонасыщенности, несмотря на достаточно высокую газонасыщенность и некоторую вероятность генерации нефти, учитывая содержание гомологов. Отдельного объяснения требует высокое содержание сероводорода, который присутствует в породе в свободном состоянии, так как выделяется при сравнительно невысоких температурах. Скорее всего, это объясняется общим высоким сероводородным фоном черноморских осадков не только в современном бассейне.

В Прикерченской части шельфа Черного моря нами изучены разрезы скв. Субботина-1, 2, 3 на территории месторождения Субботина, которое приурочено к майкопским отложениям. Содержание C_{орг.} составляет от 0,87 до 7,18 %. По данным отражательной способности витринита (Ro = 0,37–0,52 %) породы майкопской серии в инт. 1363–2330 м являются термально незрелыми. Это подтверждают данные пиролиза Rock-Eval. Значение максимальной концентрации для пород с глубин 1960–2729 м составляют 428–433 °C. На глубинах 2885–3788 м значение T_{max.} вырастает до 439–445 °C, что свидетельствует о пребывании пород в зоне генерации нефти. Это позволяет сделать вывод, что на глубинах более 2800 м отложения майкопской серии в Прикерченской части шельфа Черного моря, при подтверждении существования значительных объемов пород, обогащенных органическим веществом, могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти. Такой вывод подтверждается результатами газового анализа (табл. 10–12).

Таблица 10. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Субботина-1. Обр. 176 СБ (1363 м). Навеска 0,225 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	2184,97	–	1,96	80,16	114,52	196,65	0,019665
N ₂	110,88	0,70	–	2,57	135,44	138,71	0,013871
CO	962,27	1,17	72,33	158,67	970,67	1202,83	0,120283
CH ₄	275,18	–	25,30	148,16	23,85	197,31	0,019731
CO ₂	8033,84	86,29	2881,46	8644,39	4270,74	15882,89	1,588289
H ₂ O	51,99	29269,33	4654,22	13688,89	4380,44	51992,89	5,199289
C ₂ H ₄	46,63	–	13,66	45,09	–	58,76	0,005876
C ₂ H ₆	63,28	–	15,47	70,13	0,28	85,87	0,008587
H ₂ S	364,13	0,92	4,62	82,08	472,78	560,40	0,056040
CS ₂	24,89	–	8,13	32,51	0,00	40,64	0,004064
C ₃ H ₆	1,78	–	–	3,40	0,00	3,40	0,000340
C ₃ H ₈	9,60	–	–	19,38	0,00	19,38	0,001938
Сумма	11619,13	29357,49	7635,28	22722,84	9895,66	69611,28	6,961128

Примечание. Анализом не выявлено: C_nH_m, NO, N₂O, NH₃, SO₂, COS, F₂O₂.

Порода достаточно газонасыщена, со средним значением КВ (около 0,5). Очевидно, значительная часть СО возникает за счет восстановления газов при окислении железа и освобождается при диссоциации сиде-

рита. При таких условиях количество метана в пробе может уменьшаться, что и наблюдается при более высоких температурах. Можно оценить потенциальную способность этих пород к нефтегазогенерации выше средней.

Таблица 11. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Субботина-1. Обр. 177 СБ (2330 м). Навеска 0,305 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	5900,96	1,23	11,04	135,99	382,82	531,09	0,053109
N ₂	239,87	2,92	–	2,92	294,24	300,07	0,030007
CO	2614,42	5,25	140,00	385,00	2737,78	3268,03	0,326803
CH ₄	1408,41	0,32	93,96	689,70	225,86	1009,83	0,100983
CO ₂	7773,57	334,99	1955,28	6946,39	6131,69	15368,35	1,536835
H ₂ O	119,26	60181,33	9582,22	41502,22	7989,33	119255,11	11,925511
C ₂ H ₄	102,28	–	29,89	98,38	0,60	128,87	0,012887
C ₂ H ₆	182,37	–	42,97	204,20	0,30	247,47	0,024747
H ₂ S	1507,92	–	29,63	1680,59	610,47	2320,68	0,232068
COS	24,89	–	–	50,77	16,92	67,70	0,006770
CS ₂	222,22	–	145,16	217,73	–	362,89	0,036289
C ₃ H ₆	13,33	–	12,77	12,77	–	25,53	0,002553
C ₃ H ₈	42,00	–	48,46	36,34	–	84,80	0,008480
Сумма	18056,48	60526,04	11782,50	49662,22	17761,71	139732,47	13,973247

Примечание. Анализом не выявлено: C_nH_m, NO, N₂O, NH₃, SO₂, F₂, O₂.

Высокогазонасыщенная порода с высоким КВ, со значительным содержанием метана и гомологов – это указывает на высокую перспективность этих горизонтов на газ и нефтепродуктивность.

Таблица 12. Результаты определения состава газов методом пиролиза.
Скв. Субботина-1. Обр. 178 СБ (1960 м). Навеска 0,200 г

Компоненты	Объем продуктов пиролиза, мкл/г	Масса продуктов пиролиза, мкг/г					Массовая доля компонентов, %
		Температурные границы, °C					
		50–850	50–250	250–450	450–650	650–850	
H ₂	3478,55	–	1,66	97,91	213,50	313,07	0,031307
N ₂	22,40	0,53	–	3,42	24,08	28,02	0,002802
CO	1600,62	5,78	189,00	336,00	1470,00	2000,78	0,200078
CH ₄	460,49	0,00	46,75	178,88	104,54	330,17	0,033017
CO ₂	7057,46	318,38	3507,93	3025,54	7100,75	13952,59	1,395259
H ₂ O	103,69	55440,0	9996,00	29400,00	8853,60	103689,6	10,368960
C ₂ H ₄	44,68	–	24,02	32,28	–	56,30	0,005630
C ₂ H ₆	63,41	–	31,91	54,14	–	86,05	0,008605
H ₂ S	1145,93	19,39	20,20	1195,80	528,18	1763,58	0,176358
CS ₂	39,20	–	64,01	–	–	64,01	0,006401
C ₃ H ₆	12,00	–	11,49	11,49	–	22,98	0,002298
C ₃ H ₈	32,40	–	43,61	21,81	–	65,42	0,006542
C _n H _m	16,32	–	14,69	29,38	–	44,06	0,004406
Сумма	12723,20	55764,68	13741,33	33041,74	17766,47	120314,22	12,031422

Примечание. Анализом не выявлено: NO, N₂O, NH₃, SO₂, COS, F₂, O₂.

Порода очень похожа на предыдущую, отличается несколько более низким содержанием газов, но соотношения между ними тоже подтверждают достаточно высокую перспективность ее на нефтегазопроодуктивность. Учитывая то, что пробы отобраны из одного разреза на значительно удаленных глубинах, создается впечатление сходства всего разреза между этими пробами, то есть, есть основания говорить о достаточно высокой перспективности разреза в целом на исследованных интервалах.

Как показали результаты газ-пирохроматографического анализа, в составе газов образцов керна майкопской серии преобладают водород, оксид углерода и

углекислый газ (табл. 13). Из 9 исследованных проб суммарное содержание газовых компонентов (мкл/г) колебалось от 6920,6 в скв. Архангельская-21 до 47265,7 в скв. Голицина-1; метана (CH₄) – от 50,91 в скв. Архангельская-21 до 1408,41 в скв. Субботина-1. Анализируя распределение газовых компонентов в исследованных породах майкопа, можно отметить, в первую очередь, сравнительно небольшую их насыщенность метаном, за исключением скважин Субботина-1 и Джанкойская-1. Повышенное содержание "тяжелых" гомологов в этих же пробах указывает на возможность концентрации и нефтяных компонентов в этих разрезах.

Таблица 13. Суммарное содержание газовых компонентов в сланцевых породах Южного НГР (мкл/г) [2]

Проба	Порода	H ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	NO
Скважина Архангельская-21										
175 АХ	Алевролит	1558,1	21,8	355,8	50,91	4857,69	76,26	11,24	6,08	–
Скважина Голицына-1										
165 ГЛ	Мергель	487,53	73,92	1654,52	99,47	44938,6	11,63	12,74	18,47	–
Скважина Джанкойская-1										
168 ДЖ	Мергель	3081,87	105,79	1412,79	582,32	9397,03	81,03	45,6	72,84	0,23
Скважина Североказантипская-3										
153 ПК	Глина	3078,65	99,46	1842,85	196,46	4739,81	108,81	12,64	9,33	–
155 ПК	Алевролит	2048,48	114,38	1199,59	141,22	5243,2	97,09	14,64	12,42	–
158 ПК	Аргиллит	2393,93	579,73	5531,4	88,67	4549,69	93350	8,01	6,96	0,66
Скважина Субботина-1										
176 СБ	Аргиллит	2184,97	110,88	962,27	275,18	8033,84	51,99	46,63	63,28	–
177 СБ	Аргиллит	5900,96	239,87	2614,42	1408,41	7773,57	119,26	102,28	182,37	–
178 СБ	Аргиллит	3478,55	22,4	1600,62	460,49	7057,46	103,69	44,68	63,41	–
Скважина Архангельская-21										
175 АХ	Алевролит	1641,71	–	–	–	–	10,29	–	6920,6	2,58
Скважина Голицына-1										
165 ГЛ	Мергель	102,84	–	46,08	9,6	–	–	–	47265,7	0,70
Скважина Джанкойская-1										
168 ДЖ	Мергель	286,22	–	–	12,11	10,81	35,03	44,11	14660,9	10,23
Скважина Североказантипская-3										
153 ПК	Глина	34,36	–	–	–	–	–	19,78	10066,0	6,24
155 ПК	Алевролит	2057,11	–	23,83	13,62	10,21	4,6	17,36	8844,0	5,39
158 ПК	Аргиллит	1277,06	22,5	–	–	–	–	–	13236,8	4,67
Скважина Субботина-1										
176 СБ	Аргиллит	364,13	–	–	24,89	1,78	9,6	–	11619,1	6,51
177 СБ	Аргиллит	1507,92	–	24,89	222,22	13,33	42	–	18056,5	5,98
178 СБ	Аргиллит	1145,93	–	–	39,2	12	32,4	16,32	12723,2	5,78

На Таманском полуострове главная зона нефтеобразования расположена на глубинах от 3 до 6 км [7]. Породы майкопской серии, залегающие в этом диапазоне глубин, в условиях высокого содержания C_{орг.} и нефтегенерационного потенциала могли бы быть перспективными для поисков сланцевой нефти.

В плане оценки перспектив сланцевой нефти в Причерноморско-Крымском регионе можно отметить, что обнаруженные нефтяные залежи являются индикатором того, что залегающие на значительных глубинах черносланцевые отложения альба и майкопской серии

имеют достаточный нефтегенерационный потенциал и оптимальную степень термальной зрелости, которые соответствуют главной зоне нефтеобразования. Следовательно, эти толщи при условии их широкого распространения в разрезе и по латерали могут быть перспективными для поисков сланцевой нефти.

Это подтверждается высокой ролью метана в составе газов из керна майкопской серии (табл. 14), а также химическим составом воды отложений майкопской серии (табл. 15).

Таблица 14. Состав газов керна майкопской серии [5]

Глубина	Плотность	Метан CH ₄	Этан C ₂ H ₆	Пропан C ₃ H ₈	Изобутан C ₄ H ₁₀	И-Бутан C ₄ H ₁₀	Изопентан C ₅ H ₁₂	И-Пентан C ₅ H ₁₂	Гексаны	N ₂	CO ₂	O ₂
Скважина Архангельская-21												
867,9–897,5	0,901	56,492	0,077	0,051	0,011	0,018	0,0008	0,0008	0,018	34,618	0,112	8,587
Скважина Голицына-28												
940	0,6804	93,224	0,633	0,111	0,019	0,018	–	–	–	4,773	0,180	1,042
Скважина Североказантипская-3												
1039–1133	0,6861	97,268	1,864	0,198	0,011	0,006	–	–	–	0,527	0,117	0,009
1274–1293	0,6859	97,406	1,834	0,245	0,025	0,018	–	–	–	0,368	0,104	–
1416–1454	0,6854	97,248	1,840	0,106	–	–	–	–	–	0,668	0,138	–
1578–1597	0,7301	91,305	3,431	0,789	0,242	0,178	0,070	0,036	0,044	3,734	0,138	0,033
1902–1730	0,7302	91,794	3,182	1,288	0,291	0,160	0,048	0,006	0,033	3,009	0,166	0,023
1902–1730	0,7274	92,859	3,406	1,069	0,226	0,175	0,087	0,049	0,144	1,780	0,194	0,011

Таблица 15. Химический состав воды отложений майкопской серии [5]

Глубина	Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		CO ₃ ²⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		K + Na		Сума
	Мг/л	Мг-экв	Мг/л	Мг-экв	Мг/л	Мг-экв	Мг/л	Мг-экв	Мг/л	Мг-экв	Мг/л	Мг-экв	Мг-л	Мг-экв	
Скважина Голицына-28															
570	38474,1	1085	646,3	13,46	—	—	414,8	6,8	1078,6	53,82	1067,2	87,77	22026,5	917,77	64650
583–591	9893,3	279	1401,8	29,2	—	—	213,5	3,5	215,7	10,76	533,7	43,89	6167,3	256,97	18473
940	35176	992	31,1	0,65	—	—	183,0	3,0	1576,3	78,66	1057,2	86,94	19653,1	818,88	58133
Скважина Североказантипская-3															
1578–1597	13726,6	387,1	749,7	15,6	—	—	2106	36	666,9	33,3	227,4	16,7	9280,8	386,7	26844,4
1410–1454	5908	166,6	92,5	1,93	72	2,4	1061	17,4	77,1	3,85	32,8	2,7	4363	181,78	11606
2493–2502	6081	171,5	842	17,54	—	—	384	6,3	263,6	13,15	368,7	30,32	3645	151,87	11584
1416–1454	5560	156,8	79,7	1,66	72	2,4	1055	17,3	79,2	3,95	31,6	2,6	4119	171,61	10996
1416–1454	5908	166,6	92,5	1,93	72	2,4	1061	17,4	77,1	3,85	32,8	2,7	4363	181,78	11606
1578–1597	30581	862,4	548	11,42	—	—	1720	28,2	12765	637	316	26	5736	239,02	51666
1274–1293	7123,9	200,9	1031,1	21,5	—	—	396,5	6,5	375,1	18,7	379,4	31,2	4296	179	13602

Выводы. Нами изучены геохимические особенности пород майкопской серии по разрезам скважин северо-западного шельфа Черного моря (скв. Архангельская-21, Голицына-1, 6, 7, 9, 12, 28), центральной части Крымского полуострова (скв. Джанкойская-1), Керченского полуострова (скв. Фонтановская-6, 12), шельфа Азовского моря (скв. Североказантипская-3), Причерной части шельфа Черного моря (Субботина-1).

В результате проведенных исследований установлено высокое содержание $S_{орг.}$ (2,26–16,70 %) и ТОС (1,5–10,2 %) в породах майкопской серии, однако они, как правило, являются термально незрелыми и не могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти. Исключением являются породы в скв. Голицына-1, 9, где отражательная способность витринита достигает значений, характерных для нижней части зоны образования нефти (0,8–1,8), что свидетельствует о благоприятных термальных условиях на нижних горизонтах распространения майкопских отложений и об их возможном нефтегенерационном потенциале. Это подтверждается анализом компонентного состава газов из скважин Голицына-1, Архангельская-21, Джанкойская-1, Североказантипская-3, Субботина-1. Здесь на значительных глубинах развиты средние- и высокогазоносные породы со средним коэффициентом восстановленности, со значительными примесями гомологов, несколько обогащенные сероводородом, что указывает на их перспективность по газонефтеосодержанию, несмотря на их термическую незрелость. Это противоречие может быть следствием миграции газонефтяных компонентов из нижних горизонтов толщ в вышезалегающие горизонты.

Таким образом, на глубинах более 2000 м отложения майкопской серии при подтверждении значительных объемов пород, обогащенных органическим веществом, могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти. В плане оценки перспектив сланцевой нефти в Причерноморско-Крымском регионе можно отметить, что обнаруженные нефтяные залежи являются индикатором того, что залегающие глубже черносланцевые отложения альба и майкопской серии имеют достаточный нефтегенерационный потенциал и оптимальную степень термальной зрелости, которая соответствует главной зоне нефтеобразования, а следовательно эти толщ в условиях их широкого распространения в разрезе и по латерали могут быть перспективными для поисков сланцевой нефти.

Исходя из приведенных выше результатов геохимических исследований майкопских отложений Причерноморско-Крымского региона, а также учитывая установленные особенности их осадконакопления, можем утверждать, что:

1) главная масса осадков олигоцена – раннего миоцена, обогащенных ОВ, формировались в своеобразных

седиментационных ловушках – шельфовых иловых впадинах. В нашем случае это осевая зона Каркинитско-Северокрымского и Индоло-Кубанского прогибов, в рамках которых суммарная мощность майкопских отложений максимальна для региона и локальными участками превышает соответственно 1500 и 4000 м;

2) исходя из ритмичности развития в разрезе кластогенных пород майкопской серии, которые фиксируют возрастные интервалы максимального аллювиального влияния, а также, учитывая данные [1] о цикличности изменений солености водоема, можно прогнозировать 3–4 возрастных уровня формирования осадков, обогащенных $S_{орг.}$. Последние довольно четко выделяются на литологических сечениях характерным доминированием глинистых литотипов, разделенных кластогенными образованиями. Они формируют пакки мощностью от 20 до 100 м, залегающие на глубинах от 300 до 1500 м. Они сложены аргиллитами с многочисленными миллиметровыми слоями и одиночными пачками (0,2–1,5 м) алевролитов;

3) содержание $S_{орг.}$ в аргиллитах редко превышает 2 %, степень катагенетических изменений пород по отражательной способности витринита, которая варьирует в пределах 0,43–0,50, соответствует протокатагенезу.

Проведенные минералого-петрографические, геохимические, седиментолого-палеоокеанографические исследования показывают, что в пределах Причерноморско-Крымского региона породы майкопской серии, которые залегают на глубинах около 2000 м и глубже, могут генерировать нефтяные углеводороды, и при наличии достаточно крупных объемов пород, обогащенных рассеянным органическим веществом, они могут рассматриваться как перспективные объекты для поисков сланцевой нефти. В то же время породы серии в диапазоне глубин 0–2000 м хотя и содержат значительное количество $S_{орг.}$, но являются термически незрелыми и не могут рассматриваться как перспективные для поисков сланцевой нефти.

Таким образом, проведенные исследования выявили резкую неоднородность майкопской нефтематеринской толщ относительно концентрации ОВ и других газовых компонентов. На формирование состава осадков и ОВ в первую очередь повлияла тектоническая активность региона в альпийское время. Она определила источники сноса, морфологию дна бассейна, его глубину, гидрологический режим и обеспечила дополнительные глубинные потоки питательных веществ для автотрофов, сероводорода, а также примеси наземного материала в ОВ. Поступление биофильных элементов приводило к расцвету фитопланктона, особенно динофлагеллят, цветение которых вызвало массовую гибель ихтиофауны, а их остатки послужили материалом для формирования аммиагиновой примеси в МА майкопской

серии. Наличие в водах майкопского бассейна огромного количества белкового материала, в свою очередь, могло быть причиной интенсивной сульфатредукции и сероводородного заражения вод, что вызвало значительный расход ОВ еще на стадии седиментогенеза и, как следствие – невысокую концентрацию $C_{орг.}$ в глинах майкопской серии (менее 1 %). Сероводородное заражение существовало в отдельные периоды майкопского времени, но это не были эпохи максимального накопления ОВ, поэтому корреляция между содержанием углеводородов и сероводородом в пробах отсутствует. В разрезе фиксируются очень высокие значения отношения $фитан/нС18 = 2-9$ в углеводородном составе ОВ. Наиболее благоприятная обстановка для формирования повышенных концентраций ОВ существовала в хадумское время, когда сероводородного заражения вод не было. Глины этого возраста характеризуются высоким содержанием ОВ ($C_{орг.}$ до 8 %), а кероген II типа имеет высокий нефтематеринский потенциал ($HI = 400-700$ мг УВ/г $C_{орг.}$), который на большей части территории региона еще не полностью реализован ($T_{max.}$ не выше 460 °C). Очевидно, эти генетические причины привели к формированию неоднородной по нефтематеринскому потенциалу мощной майкопской толщи. Это также объясняет относительно невысокий масштаб генерации жидких ВВ.

Список использованных источников

1. Жижченко Б. П. Методы стратиграфических исследований нефтегазовых областей / Б. П. Жижченко. – М.: Недра, 1969. – 372 с.
2. Загнітко В. М. Геохімічні особливості газової складової газонасних сланцевих товщ України / В. М. Загнітко, В. А. Михайлов // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2014. – № 1(64). – С. 11–17.
3. Михайлов В. А. Геолого-геохимические основы оценки газонасности сланцевых толщ Украины / В. А. Михайлов, В. Н. Загнитко. – Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 2015. – 346 с.
4. Надеждин Д. В. Нефтематеринские свойства майкопских отложений и их роль в нефтегазонасности восточной части Черного моря: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Д. В. Надеждин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011.
5. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. III. Південний нафтогазоносний регіон / В. А. Михайлов, І. М. Куровець, Ю. М. Синьковський та ін. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2014. – 222 с.
6. Органическое вещество в майкопских отложениях олигоцена Северного Кавказа / М. Л. Сен-Жермес, О. К. Баженова, Ф. Боден, Н. И. Запорожеч, Н. П. Фадеева // Литология и полезные ископаемые. – 2000. – № 1. – С. 56–73.
7. Петриченко Ю. А. Геохимическая характеристика органического вещества майкопской серии Керченско-Таманского прогиба / Ю. А. Петриченко // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2000. – № 6. – С. 64–66.
8. Петриченко Ю. А. Нефтематеринский потенциал отложений майкопской серии Индоло-Кубанского прогиба: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Ю. А. Петриченко. – М., 2001.
9. Условия осадконакопления в восточном океане Паратетис в олигоцене–раннем миоцене / О. К. Баженова, Н. П. Фадеева, М. Л. Сен-Жермес, Е. Е. Тихомирова // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. – 2003. – № 6. – С. 12–19.
10. Фадеева Н. П. Генерационный потенциал майкопской серии Кавказско-Скифского региона / Н. П. Фадеева, О. К. Баженова, М. Л. Сен-Жермес // Геохимическое моделирование и материнские породы нефтегазоносных бассейнов России и стран СНГ. – СПб.: ВНИГРИ, 2000. – С. 60–71.
11. Эфендиева М. А. Майкопская серия как один из нетрадиционных источников углеводородов Азербайджана / М. А. Эфендиева, И. С. Гулиев // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Тр. VII Всеросс. Литологического совещания, 28-31 октября 2013 г.
12. Afandiyeva M. A. Maikop Group – shale hydrocarbon complex in Azerbaijan / M. A. Afandiyeva, I. S. Guliyeva // 75 EAGE Conference & Exhibition London. – 2013. – P. 6–13.
13. Guliyev I. S. Geochemical characteristics of organic matter from Maikop rocks of eastern Azerbaijan / I. S. Guliyev, M. F. Tagiyev, A. A. Feyzullayev // Lithology and Mineral Resources. – 2001. – Vol. 36. – P. 280–285.
14. Hudson S. M. Stratigraphy and geochemical characterization of the Oligocene–Miocene Maikop Series: implications for the paleogeography of Eastern Azerbaijan / S. M. Hudson, C. L. Johnson, H. D. Rowe, M. A. Efendiyeva, C. S. Feyzullayev, A. Aliyev // Tectonophysics. – 2008. – Vol. 451, Is. 1–4. – P. 40–55.
15. Origine et préservation de la matière organique amorphe dans la série de Maikop (Oligocène–Miocène inférieur) du Précaucase et de l'Azerbaïdjan / M. Saint-Germès, F. Baudin, O. Bazhenova, S. Derenne, N. Fadeeva, C. Largeau // Bulletin de la Société géologique de France. – 2002. – Vol. 173, № 5. – P. 423–426.
16. Petroleum geology of the Black Sea / A. G. Robinson, J. H. Rudat, C. J. Banks, R. L. F. Wiles // Marine and Petroleum Geology. – 1996. – Vol. 13, No. 2. – P. 195–223.
17. Saint-Germès M. L. Etude sédimentologique et géochimique de la matière organique du bassin maykopien (Oligocène–Miocène inférieur) de la Crimée a l'Azerbaïdjan / M. L. Saint-Germès. – UPVC Paris, 1998.
18. Sedimentology and organic geochemistry of Maikop Series / M. L. Saint-Germès, O. K. Bazhenova, N. P. Fadeeva, F. Baudin // Peritethys Programme, Report of Project 95–75, May 1996. – Lomonosov State University, Moscow, Russia and CNRS-URA 1761 and UPMC, Paris, France. – 1996. – P. 1–40.

References

1. Zhizhchenko, B. P. (1969). Methods of stratigraphic research of oil and gas fields. M.: Nedra, 372 p. [in Russian].
2. Zagnitko, V. M., Mykhailov, V. A. (2014). Geochemical features of the gas component gas-bearing shale strata of Ukraine. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (64), 11–17. [in Ukrainian].
3. Mykhailov, V. A., Zagnitko, V. N. (2015). Geological and geochemical basis for assessing gas-bearing shale strata of Ukraine. Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 346 p. [in Russian].
4. Nadezhkin, D. V. (2011). Oil source properties of Maikop and their role in the oil and gas potential of the eastern Black Sea. Theses dis... cand. geol.-mineral. sciences. M.: State Univ. University Press. [in Russian].
5. Mykhailov, V. A., Kurovets, I. M., Synkovskiy, Ju. N. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Book III. South oil and gas region. K.: "Kyiv University", 222 p. [in Ukrainian].
6. Saint-Germès, M., Bazhenov, O. K., Boden, F., Zaporozhets, N. I., Fadeeva, N. P. (2000). The organic matter in the sediments of Oligocene Maikop North Caucasus. *Lithology and minerals*, 1, 56–73. [in Russian].
7. Petrychenko, Yu. A. (2000). Geochemical characterization of the organic matter of the Maikop series of the Kerch–Taman trough. *Vestn. Moscow State University. Ser. 4. Geology*, 6, 64–66. [in Russian].
8. Petrychenko, Yu. A. (2001). Oil source potential of the deposits of the Maikop series of Indol–Kuban basin. Theses. dis... cand. geol.-mineral. sciences. M. [in Russian].
9. Bazhenova, O. K., Fadeeva, N. P., Saint-Germès, M. L., Tikhomirova, E. E. (2003). Terms and conditions of sedimentation in the eastern ocean Paratethys in the Oligocene–Early Miocene. *Vestn. Moscow State University. Ser. 4. Geology*, 6, 12–19. [in Russian].
10. Fadeeva, N. P., Bazhenova, O. K., Saint-Germès, M. L. (2000). Generation potential of the Maikop series of the Caucasus–Scythian region. *Geochemical modeling and source rocks in Russia and Uis oil and gas basins*. Saint-Petersburg: VNIIGRI, 60–71. [in Russian].
11. Efendiyeva, M. A., Guliyev, I. S. (2013). Maikop series as one of the unconventional sources of hydrocarbons in Azerbaijan. Sedimentary pools, sedimentary and postsedimentary processes in geological history. *Tr. VII Lithological meeting of 28–31 October*. [in Russian].
12. Afandiyeva, M. A., Guliyeva, I. S. (2013). Maikop Group-shale hydrocarbon complex in Azerbaijan. 75 EAGE Conference & Exhibition London, 6–13.
13. Guliyev, I. S., Tagiyev, M. F., Feyzullayev, A. A. (2001). Geochemical characteristics of organic matter from Maikop rocks of eastern Azerbaijan. *Lithology and Mineral Resources*, 36, 280–285.
14. Hudson, S. M., Johnson, C. L., Rowe, H. D., Efendiyeva, M. A., Feyzullayev, C. S., Aliyev, A. (2008). Stratigraphy and geochemical characterization of the Oligocene–Miocene Maikop Series: implications for the paleogeography of Eastern Azerbaijan. *Tectonophysics*, 451, 1–4, 40–55.
15. Saint-Germès, M., Baudin, F., Bazhenova, O., Derenne, S., Fadeeva, N., Largeau, C. (2002). Origine et préservation de la matière organique amorphe dans la série de Maikop (Oligocène–Miocène inférieur) du Précaucase et de l'Azerbaïdjan. *Bulletin de la Société géologique de France*, 173, 5, 423–426.
16. Robinson, A. G., Rudat, J. H., Banks, C. J., Wiles, R. L. F. (1996). Petroleum geology of the Black Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 13, 2, 195–223.
17. Saint-Germès, M. L. (1998). Etude sédimentologique et géochimique de la matière organique du bassin maykopien (Oligocène–Miocène inférieur) de la Crimée a l'Azerbaïdjan. UPVC Paris.
18. Saint-Germès, M. L., Bazhenova, O. K., Fadeeva, N. P., Baudin, F. (1996). Sedimentology and organic geochemistry of Maikop Series Peritethys Programme. Report of Project 95–75. Lomonosov State University, Moscow, Russia and CNRS-URA 1761 and UPMC, Paris, France, 1–40.

Надійшла до редколегії 29.04.17

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

GEOCHEMICAL FEATURES OF MAIKOP SERIES OF CRIMEAN AND BLACK SEA REGION

The geochemical features of the rocks of the Maikop series along sections of north-western shelf wells of the Black Sea (well Arkhangelsk-21, Golitsyn-1, 6, 7, 9, 12, 28), the central part of the Crimean peninsula (Dzhankovsky-1), Kerch Peninsula (Fontanovskaya-6, 12), the sea of Azov shelf (Severokazantipskaya-3), Prykerchenska section of the Black sea shelf (Subbotin-1) are studied.

The studies found a high content of C_{org} (2,26–16,70 %) and TOC (1,5–10,2 %) in the rocks of the Maikop series, however, they usually are thermally immature and cannot be viewed as promising for oil shale research. Exceptions are rocks in the boreholes Golitsyn-1, 9, where the vitrinite reflectance reaches values typical of the lower part of the formation of the oil zone (0,8–1,8), indicating a favorable thermal conditions at the lower levels of Maikop deposits and their possible oil-and-gas potential. This is confirmed by the analysis of component composition of gas from wells Golitsyn-1, Arkhangelsk 21, Dzhankovsky-1, Severokazantipskaya-3, Subbotin-1. Here at considerable depths are present medium- and high gas content rocks, with an average recovery rate, with significant impurities homologues, some enriched with hydrogen sulfide, which indicates their prospects for gas-and-oil content despite their thermal immaturity. This contradiction may be due to migration of gas and oil components from subsurface strata in the overlying horizons.

Thus, at depths greater than 2000m, deposits of the Maikop series, on condition of the confirmation of significant volumes of rock rich in organic matter, can be viewed as promising for oil shale research. In regard to the Black Sea and the Crimean region, it may be noted that the discovered oil deposits are an indicator that deeper lying black shale deposits of the Albian and Maikop series have sufficient oil-and-gas potential and the optimal degree of thermal maturity, which corresponds to the main zone of oil formation, and hence these strata, in terms of their wide distribution in the section and laterally, may be prospective for shale oil exploration.

Keywords: geochemistry features, Maikop series, shale oil.

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vladvam@gmail.com,
В. Загнітко, д-р геол.-мінерал. наук, проф.
E-mail: zagnitkow@i.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МАЙКОПСЬКОЇ СЕРІЇ КРИМСЬКО-ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ

Вивчено геохімічні особливості порід майкопської серії по розрізах свердловин північно-західного шельфу Чорного моря (св. Архангельська-21, Голіцина-1, 6, 7, 9, 12, 28), центральній частині Кримського півострова (св. Джанкойська-1), Керченського півострова (св. Фонтанівська-6, 12), шельфу Азовського моря (св. Північноказантипська-3), Прикерченської частини шельфу Чорного моря (Субботіна-1).

У результаті проведених досліджень встановлено високий вміст C_{org} (2,26–16,70 %) і ТОС (1,5–10,2 %) у породах майкопської серії, однак вони, як правило, є термально незрілими і не можуть розглядатися як перспективні для пошуків сланцевої нафти. Винятком є породи у св. Голіцина-1, 9, де відбита здатність вітриніту досягає значень, характерних для нижньої частини зони утворення нафти (0,8–1,8), що свідчить про сприятливі термальні умови на нижніх горизонтах поширення майкопських відкладів і про їхній можливий нафтогенерацийний потенціал. Це підтверджується аналізом компонентного складу газів зі свердловин Голіцина-1, Архангельська-21, Джанкойська-1, Північноказантипська-3, Субботіна-1. Тут на значних глибинах розвинені середньо- і високогазонасичені породи із середнім коефіцієнтом відновності, зі значними домішками гомологів, дещо збагачені сірководнем, що вказує на їхню перспективність за газонафтовмістом, незважаючи на їхню термальну незрілість. Це протиріччя може бути наслідком міграції газонафтових компонентів з нижніх горизонтів товщі до горизонтів, що залягають вище.

Таким чином, на глибинах понад 2000 м відклади майкопської серії при підтвердженні значних обсягів порід, збагачених органічною речовиною, можуть розглядатися як перспективні для пошуків сланцевої нафти. У плані оцінки перспектив сланцевої нафти в Причорноморсько-Кримському регіоні можна відзначити, що виявлені нафтові поклади є індикатором того, що чорносланцеві відклади альба і майкопської серії, які залягають глибше, мають достатній нафтогенерацийний потенціал і оптимальний ступінь термальної зрілості, яка відповідає головній зоні нафтоутворення, а отже, ці товщі в умовах їхнього поширення в розрізі й по латералі можуть бути перспективними для пошуків сланцевої нафти.

Ключові слова: геохімічні особливості, майкопська серія, сланцева нафта.

УДК 553.98(550.812)

I. Bagriy, Dr. Sci. (Geol.), Senior researcher
E-mail: bagrid@ukr.net,
K. Starodubets, Junior researcher
E-mail: starodubets.kirill@ukr.net
Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine
55-b Honchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine,
Yu. Gordieieva, Postgraduate student
E-mail: u_gordeeva@mail.ru
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylkivska Str., Kiev, 03022, Ukraine,
V. Semenyuk, Chief geologist
E-mail: V.Semenuk@ukrgv.com
Smart Energy LLC, 5 Dimitrova Str., Kyiv, 03150, Ukraine

HYDRO-GEOSYNERGETIC BIOGENIC-MANTLE HYPOTHESIS OF HYDROCARBON ORIGIN AND ITS INVOLVEMENT INTO DIRECT PROSPECTING TECHNOLOGY JUSTIFICATION

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

In accordance with circuit of substance in nature, hydrogeosynergetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon origin was elaborated and consequently, direct prospecting structural-thermal-atmo-hydro-geochemical technology (STAHT) was constructed. For the first time, considered technology was applied and implemented in the process of prospecting works both at ground-level oil-and-gas bearing facilities of Ukraine (Dnieper–Donets depression) and at off-shore facilities of Black Sea (the north-western and north-eastern shelf) via use of specifically developed hardware systems. Taking into account location of existing fields in the catchment of Sula River, comprehensive hydrological studies were conducted. The quantitative characteristics of biogenic methane within the catchment areas and underflow deposits were defined. The contents of biota, methane, as well as the thickness of the underlying sediments within the riverbed have been determined. As a result, zones of enhanced permeability were allocated. Within these zones infiltration afflux of water-dissolved substrates are formed. It was determined that hydrocarbons and their projections, located in degassing pipes of deposits in the valley of Sula River, are of mantle origin. The proposed unified approach enables to substantiate the search criteria of petroleum potential in areas where there are neither deflection zones nor thick sedimentary cover, but there are favorable conditions for hydrocarbons accumulation in crystalline rocks. Based on a unified technology STAHT, recommendations for further studies to substantiate new petroleum-bearing areas and facilities are provided. For the first time, the sources of replenishment of oil and gas deposits in operation were substantiated.

Keywords: hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis, hydrocarbons, hydrocarbon migration, tectonics.

Introduction. Generation, migration and accumulation of hydrocarbons (HC) are the fundamental problems of petroleum geology. There are a number of problems that have not yet been resolved, and in the XXI century, in spite of the long and often seemingly successful attempts to solve them in the present state of the methodology and practice of hydrocarbon prospecting practically throughout XIX–XX centuries. For centuries, the two points of view on the nature of the origin of oil are known. The first one is the biogenic theory. According to it, oil was formed from the remains of plants or animals. The second theory, abiogenic, was developed in detail by D. Mendeleev, who suggested that oil in the nature can be synthesized from inorganic compounds. Although most geologists still adhere to the biogenic theory, echoes of this debate do not subside to the present day. The price of the truth is too high in this case. If the proponents of biogenic theory are right, the fear that oil reserves occurred a long time ago, may soon come to an end is also true. If the truth is on the side of their opponents, it is likely that these fears are unfounded.

Previous study. In his assumptions D. I. Mendeleev [18] referred to experiments on the obtaining of hydrogen and unsaturated hydrocarbons by exposure of sulfuric acid on iron that contained a sufficient amount of carbon.

At the meeting of the Russian Chemical Society on October 15, 1876, D. Mendeleev presented a detailed report. He outlined his oil formation hypothesis. Scientist believed that during orogenic processes along the cracks-fractures that cut the crust, the water permeates deep into the bowels. Permeating in the subsoil, it finally meets the iron carbides, and under the influence of ambient temperature and pressure reacts with it, resulting in the formation of iron oxides and hydrocarbons, such as ethane. The obtained substances are raised on the same faults into the upper layers of the earth's crust and saturate porous rocks. This way form the hydrocarbons.

Whence come from the oil fields from small to giant? Where the primary material is formed – methane in amounts corresponding to the size (volume) of deposits? The first and almost successful attempt to explain it has been undertaken by proponents of biogenic theory of oil formation.

Recently there has been a trend towards convergence of the two conflicting sides of abiogenic and biogenic hypotheses. The unifying element has become an idea of V. Vernadsky about global geochemical cycling of matter on our planet. The idea of circulation makes it possible to combine the best aspects of two existing hypotheses. Thus, the biogenic hypothesis explains the role of converting mechanism of organic matter in oil and gas on the descending branch of the cycle, and abiogenic – on the ascending one. In this combination the two given concepts can be considered a mutually supportive system of representations that reflect the two main mechanisms of formation of hydrocarbons in the process of global geochemical cycle.

Throughout the studies the theory has always lagged behind the practice, resulting in the current deplorable state of efficient prospecting and, consequently, the searching was unprovided by effective scientifically based theory of oil formation and methods of forecasting of oil and gas objects, which has led to a steady decrease in the results of search works.

Currently, when due to protracted dispute between the two schools, academic petroleum geosciences practically are not being recognized as such and western technologies are being actively implemented, the majority of geological specialists of petroleum industry reveal itself the illusion of the possibility of substitution of geological methods, new science-based search technologies by total computerization in the form of accounting software complexes, a three-dimensional seismic exploration, high tech drilling.

The oil and gas deposits search success, as it was in the 20–30 % range in the "low-technology" past, remains the

same in "high-tech" today, but the costs of exploration works have increased tenfold.

Giving due to technical progress, it should be stated that such a solution for a complex search problem based on an extremely low coefficient of verifiability of results, requires development and introduction of new methods on a substantial level of a science-based solution to the problem of direct search forecasting of oil and gas bearing targets.

Is there any way out of this situation? Are there solutions that provide an opportunity to change the situation fundamentally with regard to the success of search and exploration of hydrocarbon deposits? Yes, there are. And these solutions have intellectual character that is multiple times more effective than existing technical methods, on the basis of the modern theory of naftidogenesis – petroleum accumulation which, taking into consideration exogenous-endogenous processes, should become a unifying biogenic-abiogenic paradigm in petroleum geology in the XXI century [21].

In the late 50s of the last century, the founder of inorganic direction in Ukraine academician V. B. Porfiriev joined the similar views of prominent scientists N. A. Kudryavtsev and P. N. Kropotkin and founded inorganic direction of petroleum geology in Ukraine [13, 14, 19].

The main idea of this direction can be stated as follow: oil and gas are formed at very high temperatures and pressures below the crust of the available there hydrogen and carbon monoxide by the Fischer – Tropsch reaction process. Geochemical data (abnormally high concentrations of zirconium, titanium, barium, vanadium, uranium and other signs of the incoherent association, the isotopic composition of carbon catalysts, sulfur, hydrogen, helium) indicate the connection of the mafic pelitomorphic polymineral substance with the introduction of the anomalous mantle fluids.

In addition, at the same period of time, E. B. Chekalyuk [26] has fully proved the stability of petroleum hydrocarbons in thermodynamic processes in abnormal conditions of the mantle.

Thus, the essence of the abiogenic theory concept is that from deep levels in conjunction with other gaseous substances resulting from injections in the form of structural migration of hydrocarbon mantle fluids occurs their introduction into a fractured reservoir in the form of inversion overflows. The formation of the latter can be seen in the broad development of condensation water rims.

Such tectonic-geodynamic zones, as mentioned earlier, appear in connection with mantle plumes, and as a result of the interaction with the impulse disturbances squeeze out salt-fluids in the form of diapirs.

The above seemingly fundamental arguments of mantle hypothesis have encountered irresistible thermodynamic and geochemical contradictions, according to supporters and founders of the opposing biogenic hypothesis (I. M. Gubkin, N. B. Vassoevich, B. A. Sokolov, Bazhenov's family [6, 20]).

The presence in oils of biomarkers (hemofossils) of various inherited biological molecular structures, often in high concentrations and genetically informative ratios, is impossible to explain by either biogenic synthesis or process of "washout from their host rocks of mantle oil at its jet migration" [6].

In the process of presentation of the two existing paradigms, unlike the abiogenic hypothesis, sedimentary-migration theory has a total prevailing significance that is almost completely diverting and crowding all other options, including abiogenous modifications.

Its proponents interpret naftidogenesis and gas accumulations as a result of katagenesis of organic matter in sedimentary rocks due to the gradual increase of temperature and pressure in the conditions of the infiltration complexes of hydrological and hydrogeological, structural

and geochemical processes in the areas of geological and structural deflections and slopes of sea areas.

According to proponents of the biogenic hypothesis, the geological basis for this theory is composed of three elements: a layer of source rocks; reservoir layer, i.e. porous rock, capable to accumulate oil and gas, or both; sealed layer, i.e. low permeable rock for oil and gas and other fluids.

Arguments of academician N. B. Vassoevich [6], a supporter of an organic origin of hydrocarbon, about micro-oil and its primary migration in the sedimentary cover were fundamentally substantiated, but were not unequivocally accepted due to lack of conclusive evidence that mature oil forms in the source rocks.

In the early 90s of XX century academician A. A. Trofimuk, a proponent of organic theory of the hydrocarbons origin, suggested that oil nonetheless migrates, considering the fact that the nearby source rocks around most oil and gas deposits are practically absent [22].

However, this geological fact of secondariness of oil deposits is used by proponents of inorganic theory for the rightness of their constructions. Therefore, in the oil fields there is probably some other oil, i.e. it has an inorganic origin.

This approach of non-primary placement of hydrocarbon deposits has become a stimulus for A. A. Trofimuk [22] to search for a new version of the theory of organic origin of oil. "If the main concept – the oil is produced in one place and is accumulated in the other one" became a slogan and the logical basis for the development of ideas about the deep mantle genesis of oil, then eventually it led to urgency overdue revision of the organic concept in order to eliminate contradictions.

During the same 90s, academician A. E. Lukin [15–17] put forward and substantiated the geosynergistic concept of natural oil generating systems, which allows substantiating the different age multiphase nature of naftides and unity of formation mechanisms of different types of hydrocarbon deposits of oil generating systems. One of the most important challenges of establishing of the proposed concept is the conditions and forms of deposits localization.

There are reasons to suppose that this version would be unifying for the two existing paradigms that inhibit the processes of creating a highly efficient direct search technology of oil and gas deposits.

Materials and Methods. In the light of the two existing biogenic and abiogenic paradigms hydro-geosynergistic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation is proposed to consider. The given hypothesis has been, for the last 20 years of our research, well consistent with the tectonic-geodynamic regularities of formation of oil and gas basins on the basis of hydrological and hydrogeological processes that reflect the biogenic hypothesis of accumulation and transformation of biogenic sediments in the form of primary hydro-gas-methane substrates, acting in conjunction with abiogenic tectonic processes of mantle plumes in the zones of critical pressures, high temperatures, and under the influence of catalyzation processes in the form of an entire range of elements of mantle origin involved eventually in the processes of HC fields formation by inversion (in the stretching zones that form degassing pathways).

The hypothesis proposed by us provides the answer to the question of why a major amount (almost 100 %) of oil and gas deposits are placed mainly in geological structures associated with the deflections and the river basin, synclines, rifts, grabens, and on the shelf and slope of sea areas, where there are generators of methane accumulation by bio-components of sedimentary rocks of river systems and hydrological processes of formation of river valleys and deltas, canyons, forming the primary products of oil and gas potential – biological substrates, constantly replenishes in the processes of water-gas injection along the infiltration channels.

Its practical confirmation and implementation of structural and thermo-atmo-hydrological and geochemical studies (STAHTG) eliminate the need to give preference to one or the other paradigm, since the hydro-geosynthetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation envisages the oil generating system of naftidogenesis and the unity of complex of oil and gas formation mechanisms, as well as their deposits, on the basis of a single cycle and all its components from the simple, at first glance, to complex biogenic geodynamic, geothermal and hydro-chemical processes occurring in the range from the surface to mantle plumes. This approach confirms the ideas of two prominent scientists D. I. Mendeleev and V. I. Vernadsky.

Formation of oil and gas fields requires not only hydrocarbon (methane) components, but also certain structural-geological, geothermal and hydrological conditions for their accumulation and migration in the ongoing infiltration and inversion processes. One of the most convincing elements of the hydro-geosynthetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation is the formation factor of oil fields from small to the giant ones in the cycle of substance (water, methane), because in the process of replenishment of hydrocarbon substances it requires corresponding quantities of renewable organic not only molecular hydrogen, but also carbon which lacks in crystalline rocks sequences in such amounts.

Therefore, the assertion about the rise of hydrocarbons from the depths of the Earth, even in conditions of mantle plumes without receiving them from the outside in the form of permanent migration of the main carbon forming component – CH_4 does not look convincing.

V. B. Porfiriev believed that the best objects that validate the reliability of any theory of the origin of oil are the supergiant fields – hundreds of kilometers long, and with reserves of more than 100–150 billion tones of oil, such as deposits located within the Mackenzie Valley, Athabasca in Canada [19].

He was convinced that these deposits could not be formed from organic matter fossils diffused in the clayey material; that the so-called "oil gas maternal" sedimentary rocks – it's just logical fiction, and that the source for the formation of all the giant and supergiant deposits must have been the Earth's upper mantle.

In the 90s of the last century, Canadian geologists and geochemists, convinced proponents of the biological nature of the oil, S. Moshir and D. Uepplz thoroughly investigated this problem for the Athabasca, Cold Lake, Peace River and Uobaska when their total reserves were determined by more than 210–220 billion tons of oil (subsequently been refined – to 400 billion tons of oil).

In the process of these investigations of the Western Canada (Alberta) Mackenzie River basin all the rocks with fossil organic matter were studied. The concentration of methane in all rocks of river valleys was determined, and using the generally accepted quantitative geochemical model of biogenic-katagenic formation of oil, it was calculated that all these rocks can only give 7 % of the oil reserves, which are located in the bowels of Athabasca, Uobaska, Peace River and Cold Lake.

It would appear that researches conducted by Canadian school of the biogenic theory proponents, have put to an end the possibility of giant deposit formation, and hence the possibility of involvement of biogenic substrates in the formation of deposits.

What processes were not considered by Canadian researchers in their received 7 % possibility of biogenic participants of the giant Athabasca deposits? They did not take into account one of the most important elements of

migration, defined by V. I. Vernadsky as a "global geochemical cycling."

The law of biogenic migration of the natural cycle by V. I. Vernadsky states that "Migration of chemical elements in the earth's surface and in the biosphere is generally carried out either with the direct participation of living matter (biogenic migration), or it takes place in an environment which geochemical features (O_2 , CO_2 , H_2 , etc.) are caused by the living substance that currently inhabits the biosphere and also that took place on Earth during the entire geological history" [7, 8].

Returning to the results of studies of Canadian proponents of the biogenic hypothesis, as will be shown below, we can conclude that even 1 % of the biogenic-gas dissolved fluids during existing circulation of matter would be sufficient for the accumulation of giant oil and gas fields in the timescaled geological section corresponding to the size of the catchment area of river Mackenzie.

Canadian researchers have not yet considered one more important natural circumstance. All the processes of formation, accumulation of hydrocarbons are not in a static position, but in the process of constant natural replenishment in the form of hydrological and hydrogeological processes of accumulation of biota and their oxidation products. In addition, virtually all of the listed fields in the delta of Mackenzie are located in high latitudes – in the area of permafrost that is creating reliable screens which seal degassing processes and ultimately acting as additional hydrocarbon accumulator.

Using the entire arsenal of the evidence base for biogenic and abiogenic theories, all the deposits from small to giant are formed the same way in any case. However, each case makes it necessary to explain the capacity of the formation of hydrocarbons, particularly their quantitative characteristics that form the basis of oil and gas accumulations. And the corresponding amounts of hydrocarbon accumulation can be explained by the presence of huge volumes of biota – organic methane, which ultimately can produce complex hydrocarbons – components of crustal and subcrustal processes of the hydrocarbon fields' formation of different volumes.

In this sense, in the light the ongoing processes it is necessary once again to recall the statement of V. I. Vernadsky about the processes of gas breathing of the Earth and its role in the cycle of a huge complex of biogenic-inorganic substrate components, which are based on stimulants of processes – hydrogen and oxygen – source of life on the planet.

Under the fine metaphor for "breath" is meant a mode of functioning of the Earth in space. "Inhalation" – the Earth absorbs gas, primarily cosmic ether, which has the properties of a gas; transforms it into energy in the bowels, and then occurs "exhalation" – the Earth resets surpluses of products of geochemical processes of circulation elements in the form of water-gas mantle fluids and substrates – the catalysts, that are causing formation of hydrocarbons in super-high pressures and temperatures conditions. There is a constant energy exchange between the Earth layers and the constant transformation of matter into energy, and inversely – peculiar circulation of energy and matter.

As pointed out by academician V. I. Vernadsky, the nature and its processes are not in a static condition, but in the process of circulation of substance, i.e. in constant replenishment, within the framework of which Mendeleev and V. I. Vernadsky assigned the leading role to the water-soluble biogenic-methane substrates at the stage of "inhalation". "Respiratory tract" in this case is the stretch zone, and at the stage of "exhalation" – compression-decompression processes in the areas of mantle plumes

and inversion flows. And the essence of "the earth breathing", according to V. I. Vernadsky, is as follows: for exhalation it is necessary to inhale.

The prefiguration of the proposed model, according to V. I. Vernadsky's doctrine about the breath of the planet and the origin of hydrocarbons, became the human body, consuming organic foods and water and inhaling oxygen, ultimately emits CO₂ and produce methane compounds. As we can see, organic products in both cases are required.

Turning from specific examples to the global issues of the origin of petroleum hydrocarbons in accordance with hypotheses of D. I. Mendeleev and of V. I. Vernadsky, in the process of circulation is required a constant source of oil forming material – water, organic residues and thermo-geochemical processes, forming methane.

According to the calculations of many researchers, the amount of it remains sufficient to keep [maintain] the cycle of oil formation and replenishment processes, which currently explains the generation of hydrocarbon deposits.

The geodynamic zones in the form of gas-hydrodynamic water substrates on "inhalation" stage appear as the main ways of migration of biogenic methane. There occur processes of naftidogenesis and hydrocarbons accumulation as a result of katagenesis of methane organic matter due to an increase of temperatures (the hypothesis by Chekalyuk E. B.) and pressures under certain physical and chemical processes and involvement of a significant amount of active mineral catalysts. With the accumulation of products of katagenesis under the influence of tectonic processes occurs a logical process of "exhalation" from bowels of the earth along the inversion zones (along the

contours of degassing pathways), the products of which are petroleum hydrocarbons, water-dissolved fluids – a base for many minerals, mud volcanoes, salt diapirs. This confirms the unity of genius thoughts of the distinguished scientists of V. I. Vernadsky and D. I. Mendeleev about the global circulation of the substance as a unified hydrocarbon-forming and accumulating, geochemical and geodynamic driving force of this process.

Below we consider the complex process of formation of hydrocarbons on the local hydrological level, where the river basin was adopted as a taxonomic unit.

Throughout the studying of the origin, migration and accumulation of oil, petroleum capacity was considered from the standpoint of the hydrogeological conditions of oil and gas bearing provinces, artesian basins, the piedmont depressions and troughs.

Therefore, hydrogeological studies, being very important in the searching for oil and gas fields, provide a reliable argumentation in favor of oil and gas potential of major oil- and gas-bearing territories, provinces and aulacogens.

Below, for the first time, we consider the problem of formation of hydrocarbon fields located in the river basins, on the local hydrological level.

Hydrological problems of formation of river flow in the light of the oil and gas potential issues include hydro-gas-geochemical composition of the groundwater, riverbeds processes, suspended sediments, sedimentary strata, the conditions of the accumulation of biogenic materials in the riverine areas and in the catchment area, geomorphic configuration of the valleys and ancient valleys, and a number of interrelated processes (Fig. 1).

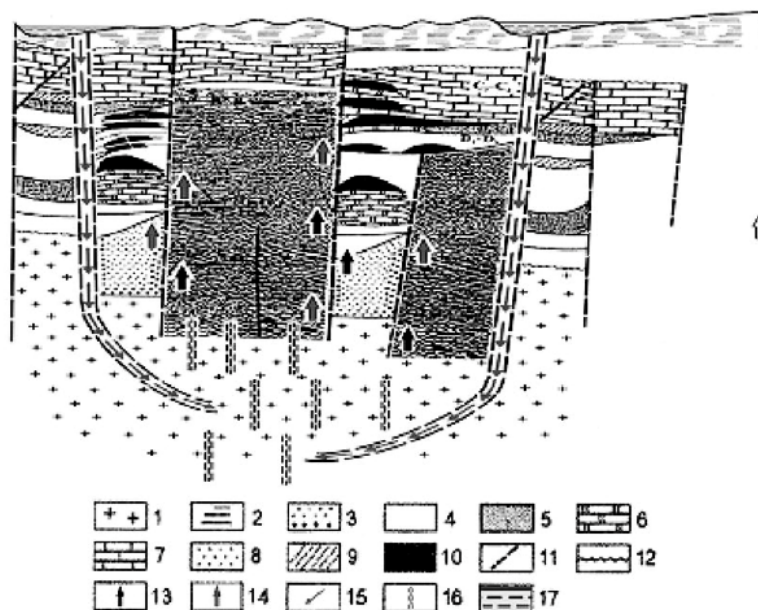


Fig. 1. Model of hydro-geo-synergetic biogenic-mantle formation of HC:

- 1 – crystalline rocks of the Precambrian basement; 2 – swamps; 3 – sand and coarse clastic molassoids; 4 – carbonate-clastic sediments; 5 – dark-colored siliceous-carbonate-clay sediments; 6 – riftogenic-carbonate massifs; 7 – shelf carbonates; 8 – accumulative sand bodies; 9 – paleo-channels; 10 – oil fields; 11 – faults; 12 – disagreements surface; 13 – oil; 14 – "dry" gas; 15 – water-dissolved methane; 16 – fracturing; 17 – riverbed

According to our research in the sphere of searching water-replete areas for laying the intake of water of infiltration and filtration types and composing sediment rocks, and in the sphere of formation of the gas composition in the zones of absorption of groundwater and gas composing elements, of fundamental importance in the formation of hydrocarbons are the following three gases: nitrogen N₂, carbon dioxide CO₂, methane CH₄, which in the

form of micro concentrations are the search criteria in river waters at search for hydrocarbons. Normally in insignificant quantities in the river waters occur helium, hydrogen, radon, appearing as marking gases of hydrocarbon deposits formation in the sedimentary cover and basement.

The presence of methane in the sediments of the river systems, deltas of sea areas, a hundred or more times higher than amount of complex hydrocarbon in river and

marine waters, indicates not only its involvement in the deposits formation, but also its participation in the processes of replenishment in the geological section, as well as during its development.

One of the most important stipulations of oil and gas formation within the framework of the unified hydro-geosyncretic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation is the compressibility of the gas-saturated river waters of infiltration in their depth migration on the fractured zones in conditions of increasing of geothermal and geodynamic processes. At high values of gas saturation, the compressibility of groundwater as described above may exceed 10 times or more the compressibility of water.

The saturation of groundwater by organic methane can take place at high pressure and is very important for determining conditions for the accumulation and mode of oil-bearing formations, as well as the geodynamic processes in the areas of growth stocks of salt, clay diapirs, mud volcanoes, etc.

The different classifications of hydrocarbon of processes of migration are known. Vertical and lateral, primary and secondary types of migration are distinguished. The primary migration means the movement of water-dissolved gases from the underlying sediments of the river valleys, predominantly from low permeable rocks into adjacent reservoirs. The secondary migration means the movement of oil and gas to reservoir layers with the subsequent formation of deposits.

The problem of the primary migration (emigration) of hydrocarbon from the underlying riverbed biogenic sediments of rivers, predominantly argillaceous strata, is the most difficult in one the general problem of the genesis and accumulation of hydrocarbons. The reality of the aquatic form of hydrocarbon migration becomes particularly clear if one considers that the deep underground water are unavoidable products of lithogenesis and processes of infiltration of river surface water, the overall process of the water cycle.

One of the most important aspects of formation of hydrocarbons deposits is, as it was shown previously, the water solubility of hydrocarbon gases [11].

A wide range of changes in the solubility of natural gas, depending on the mineralization, temperature and pressure, have been clarified experimentally. The solubility of methane in fresh water varies from 0,05 m³/m³ at a pressure of 1 MPa and a temperature of zero to 50,3 m³/m³ at a pressure of 188,8 MPa and 280 °C and up to 135,2 m³/m³ at a temperature of 354 °C and the same pressure. Mineralization significantly reduces the solubility of hydrocarbon gases at 250 °C, a pressure of 107,8 MPa and mineralization of 280 g/l methane solubility decreases to 6,5 m³/m³.

The actual gas saturation of underground water within oil and gas basins varies extensively. Gas saturation of underground water to a depth of 3–4 km is well investigated, where it usually amounts to 1–5 m³/m³, rarely more. With the depth increase temperature and pressure and, consequently, increases gas capacity of fresh underground water.

A particularly high gas saturation characterized by underground water with low mineralization. With pressure increases hydrocarbon gas solubility in underground waters is unique, the water becomes elastic. Underground waters with low mineralization are characterized by especially high gas saturation. With increase in pressure the water becomes elastic; hydrocarbons gas solubility in underground waters is unique.

Data on high gas saturation of fresh water of deep zones within oil and gas basins were also obtained by foreign researchers. Data on high gas saturation of fresh water of deep zones of oil and gas basins were also obtained by foreign researchers. Thus, the gas saturation of water in the borehole 1 at the area Edna-Delkabr drilled on the coast of the Gulf of Mexico (USA) at a depth of 3800 m, accounted for 9.3 m³/m³. In the course of investigation of the deep-water sample of water from the oil-bearing layer in the Gulf

Coast a gas saturation of 27 m³/m³ have been ascertained. Finally, from a well drilled to a depth of 6000 m, near Baton Rouge in Louisiana (USA) the influx of low-mineralized water with a gas saturation of 92,8 m³/m³ was received.

A significant increase in the solubility of hydrocarbons in underground waters with increasing pressure is quite substantially in order to explain processes of migration and accumulation of hydrocarbons, since the main factor of the primary migration are the pore solutions of biogenic-saturated dissolved gases of underlying sediment of riverbeds in the areas of infiltration. This is especially important to explain the oil and gas fields of hydrogeology, as well as their genesis and forecast performance. This, in its turn, is particularly important in order to explain the hydrogeology of oil and gas fields, as well as its genesis and expected features.

For the formation of oil and gas fields of fundamental importance is an underground hydro-gas-component of river flow in areas of infiltration and absorption along fault zones of increased permeability (FZIP) in the form of seepage flows in the areas of absorption through a porous medium along communicating pores and cracks; conventionally is accepted that the seepage flow penetrates through the entire thickness of the rocks from the Earth's surface and lower in zones of fracturing into the crystalline rocks.

In addition, in the course of development of search technology, one of the most important factors in the technological search cycle is the data of studying the temperature difference between surface water and groundwater. This could be used to track the seepage paths through the bottom sediments; conversely, data on geotectonic conditions and hydrogeology of the area in some cases serve as search criteria and provides an understanding of the causes of the geothermal features of formation of hydrocarbons, as well as finding out of features of permeable riverbed sites (absorption and unloading zones). Ultimately, these data serve as forecasting-search characteristics of the existing and new hydrocarbons deposits and underground potable water.

A significant role in these processes is played by the pore waters, which are capable of receiving and dissolving huge amounts of gaseous hydrocarbons and thereby provide its transit from the sedimentary rocks underlying the riverbeds [23].

The solubility of hydrocarbons in water decreases almost simultaneously with a growth of salinity. But associated water is low mineralized, and its mineralization the smaller, the stronger the connection between "water – methane – rocks". Therefore, in the process of lithogenesis mineralization of pore water progressively decreases, and its capacity to accumulate and expand the hydrocarbons increases.

With increasing temperature increases the solubility of hydrocarbons. But the role of temperature appears not only in increasing the solubility hydrocarbons, but also in decreasing of adsorption capacity of rocks. It has been established that at 374 °C, the mutual solubility of hydrocarbons and water becomes practically unlimited: a homogeneous water-gas-oil solution forms – fluids are in or near the supercritical condition. A substantial increase in hydrocarbon solubility with increasing pressure and decreasing of polarity of water makes the real an assumption that the condition of mutual solubility in the system "pore water – hydrocarbons" occurs at a lower temperature and therefore, at relatively shallow depths. All this allows highly evaluate the role of water migration of liquid and gaseous hydrocarbons in a wide range of existing deposits and the depths, from the surface to the crystalline rocks.

In this regard, the magnitude of gas generation should be emphasized. High hydrocarbon gases enrichment of underground water of petroleum basins provides an opportunity to evaluate the role of gaseous solutions as the main mechanism of hydrocarbon migration and formation of deposits in an integrated hydro-geosyncretic biogenic-

mantle cycle. The volumes of gaseous solutions depend on the water availability of the river systems, landscape and vegetation conditions, as well as the catchment area of the river systems.

In accounting for all forms of hydrocarbon migration from the perspective of abiogenic branch, the evacuation of oil and gas from the underlying strata into the overlying through pathways of degassing is represented as follows. The growth of geodynamic processes leads to a hydraulic fracturing of rocks.

Most of the researchers conclude that the fractures serve not only as the main migration routes of water-dissolved hydrocarbons, but also exist in the form of inversion channel forming oil and gas deposits along the pathways of degassing. In recent years, a large amount of accumulated factual material provides an opportunity to consider that it is due to the formation of intense fracturing of various origins in rocks additional cavities form, and significantly increase the filtration properties of sequences, communication takes place between the generation and reservoir layers [12, 24].

For the first time, by us at a substantiation of the new concept of hydro-geosynergetic biogenic-mantle origin of hydrocarbons into search technology have been included hydrological studies of surface and groundwater flow, reflecting the biogenic-sedimentation branch, on the basis of gas-chemical and water balance calculations. In the process of field investigations, the samples of bottom sediments of valleys and river basin have been selected and examined on the methane-producing organic material. The concentration of methane in the river water, as well as in the bottom sediments and adjacent coastal valleys, were determined. The peculiarities of emplacement and the transformation of channel processes in conjunction with structural and tectonic graben-forming processes were studied. In addition, for mapping areas of discharge or absorption of the underground component of the river flow, aerospace methods of mapping of geodynamic units are applied, included in the complex of studying of hydrocarbons

deposits formation and substantiation of search criteria. Conducted investigations (emanation and helium gas surveys) provide an opportunity to identify areas of different fluid conductivity, confined to foci of decompression of formative geo-structural zone. Such ways of linear zones of vertical and horizontal stresses form hydrodynamic conditions in which hydro-fluid-methane migration occurs, providing processes of fluid flows.

Based on the water-gas-emanation surveys (for Rn, He, H, CO₂), for the first time by us were investigated and substantiated dependence of the structural and tectonic characteristics of oil and gas objects in river basins, their location and volume on zones of infiltration. The same study we have carried out in the sea areas of Ukraine when developing search techniques STAHTG, as well as at mapping of submarine sources and hydrocarbon deposits.

The analysis of the locations of oil and gas deposits and hydrogeological basins in the world hydrocarbon production regions, closing cross-sections of deltas of Amazon, Ganges, Gulf of Mexico, the Danube et al., and also rivers of hydrological basins Canada, Bolivia, the Persian Gulf, Vietnam, Western Siberia, Perm Urals, Volga Kamskaya, Pechora, Kura, Terek, Kuban, Lena, Amudarya, DDD rivers, Carpathian depression, etc., provides an opportunity to prove and introduce into a new search technology for hydrocarbon accumulations one of the most important search criteria – hydrological-structural and geochemical elements reflecting the nature of emplacement of river systems (riverbeds) and located in their basins generators hydro-biogenic methane-forming processes under the influence of mantle catalyst, extremely high temperatures and pressures that produce complex hydrocarbons and causing it to migrate through the pathways of degassing in the cycle of matter in nature.

This is the path selected by us, eventually provides an opportunity to answer the questions about the origin, formation and placement of hydrocarbon deposits in the light of the cycle of water and methane substrates, and on this basis to develop a new method of direct search STAHTG (Fig. 2).

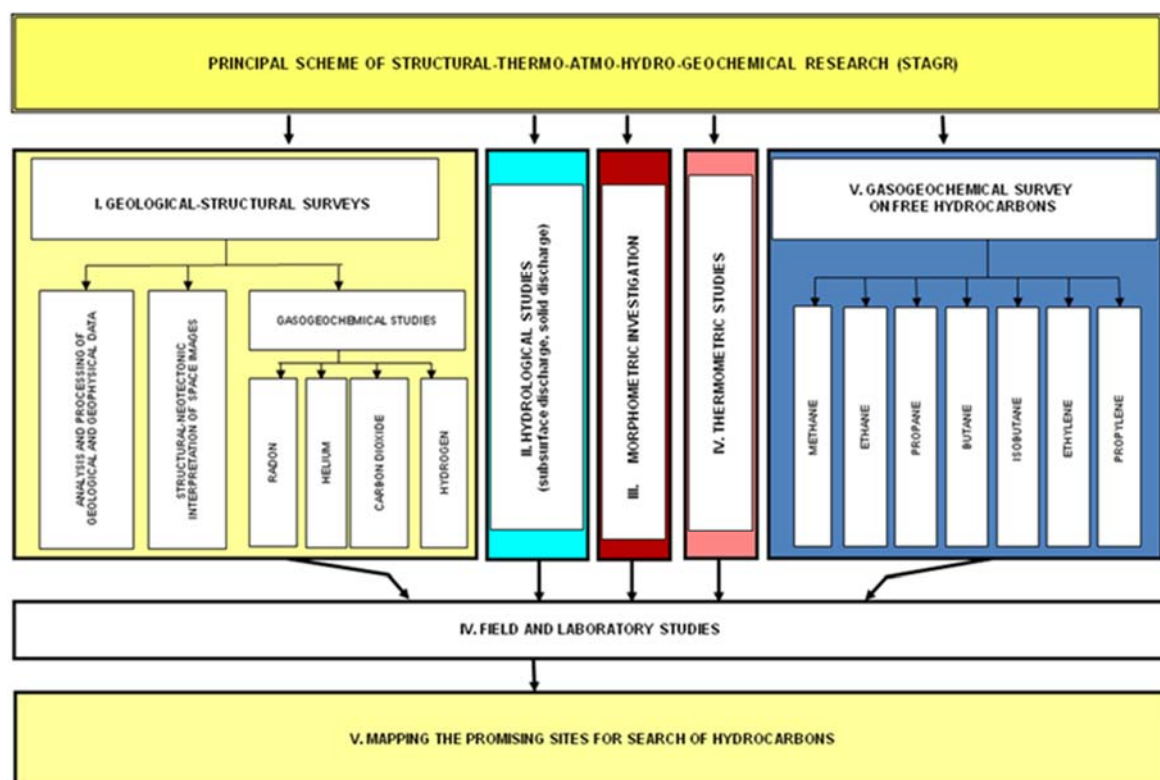


Fig. 2. Principled schedule of direct searches for hydrocarbons according to the structural and thermo-atmo-hydrological and geochemical technology

The study of hydrological, structural and geological features on the territory of river basins under consideration in accordance with hydrological unit of search technology provides a reliable basis for calculation of volumes of accumulation of biota and products of hydro-gas-substrates (water – methane), providing an opportunity to allocate the primary contours of expected and promising areas for hydrocarbons.

And already in the 70s of the last century at the Institute of Geological Sciences of Ukraine, a successful attempt to unify the whole complex of geological-structural, of geodynamic, atmogeochemical, geothermic and hydrological studies into one search technology on groundwater in the sedimentary cover and crystalline rocks was undertaken by the author, and since the year 2000, a positive experience has been received. On this basis, the new concept of direct search for hydrocarbons was developed [1–4].

Analysis of the location of large oil and gas deposits in the hydrogeological basins of Western Siberia (180 fields) and Perm Ural (173 fields) provides an opportunity to draw some conclusions in order to develop recommendations for the search for new oil and gas deposits, associated with river beds.

The greatest number of discussed above hydrocarbon deposits located under the riverbeds or in immediate proximity to the riverbeds in the valleys formed by sedimentation-biogenic sediments of river systems.

Deposits of hydrocarbons within marine areas are located in river deltas-zones of groundwater discharge of river basins confined to fractured zones of traced canyons of ancient valleys of river systems formed in the sediments of the sedimentation zones in Cenozoic.

Methane-soluble substrates filling of fractured volumes of mantle origin inevitably leads to migration of surpluses of gas component in marine areas, introduced by water-gas stream, and to the incapability of its acceptance by limiting volumes of fractured zones of crystalline rocks. They wedge out with gas, pure methane fountains, mud volcanoes, saturating the upper layers of the sedimentary cover of bottom sediments, representing an inverted effect of bottom sediments of the river systems. Therefore erroneously it is interpreted by many researchers as gas hydrates. According to the results of our research, on its sorbing characteristics during degassing of marine bottom sediments and sediments of river systems they are practically identical, reaching in both the first and second cases up to 60–80 vol. %.

In areas of water-gas submarine sources pinchout along listric faults such phenomena sometimes cause the diapiric rise, mud volcanoes, etc.

According to the unifying hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis, in the zones of development of deep tracing faults, freshwater-gas-saturated substrates are getting inside the mantle stretching zone interpreted as mantle plumes, which are characterized by high temperatures and pressures, as well as by implication of the range of mantle fluid catalysts. As a result of this, complex hydrocarbons are formed. In conditions of geodynamic processes they are partially squeezed into the sedimentary cover along the pathways of degassing and accumulate in the stretching zones. They also partially accumulate in fractured areas of basement, forming hydrocarbons deposits in crystalline rocks.

Results and Conclusions. For the first time on the basis of a unifying hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis, a comprehensive hydrological studies within the framework of improvement of direct search technology STAHTG on the rivers of Ukraine were conducted by us: within Dnieper–Donets depression (DDD) – on rivers Sula, Vorskla, Psel, Orel, on the rivers of Carpathian piedmont trough, in the deltas of the river systems and their canyons. In addition, there were mapped on the of structural-tectonic basis river systems, canyons, more than 250 current and forecast deposits, considering development of graben-forming processes.

Analysis of placement of oil and gas deposits in the marine areas and in mapped river canyons (E. F. Shnyukov, V. I. Melnik) completely confirms geographical placement of hydrocarbon deposits and riverbeds processes in river deltas and canyons (the Danube, the Dnieper, Kuban etc.). A total of more than 300 current and predicted deposits in rivers of deflections zones and marine areas were analyzed.

Thus, the analysis of materials of aerospace survey, of topographic bases 1 : 100000 scale, structural-tectonic maps in areas of deposits placement, as well as data of katabatic characteristics of the surface river flows and, in particular, of underground flows provides reason to believe that almost all oil and gas bearing structures (in this case, of Ukraine – Carpathian piedmont basin and DDD) are located under the riverbeds or adjacent to them, in areas of absorption of river underground flow forming a water-gas-methane biogenic substrates due to income from areas of infiltration.

Almost all of the riverbeds, as mentioned above, are laid along the graben-shaped troughs and FZEP of river systems controlled by deflections, located in areas of high humidification and wetlands.

As shown by a comprehensive analysis of hydrological, hydro-geological, structural and tectonic studies, including materials concerning the fault-block tectonics and graben-shaped formations, there is reason to believe that practically all oil and gas bearing objects of river basins of DDD – Sula, Vorskla, Psel, Oril, and also of zones of Black Sea and Carpathian depressions with deltaic canyons in the form of continuing river systems, are located in the areas of absorption and discharge of superficial river water and in terms of placement are confined to its river valleys.

In addition, this configuration of deposits placement in the riverbeds and within its valleys is easily explained from the standpoint of paleogeographic features in the areas of depressions – graben, forming as a result of its transformation by structural processes.

An insignificant part of hydrocarbon deposits is located in the watershed areas – the probable ancient valleys, geodynamic zones of extension – the most permeable extension zones, favorable for both the emplacement of river basins of the lower orders and for FZEP.

For the first time, a comprehensive analysis of hydrocarbon deposits placement within the river basins of DDD on the structural-tectonic basis (Fig. 3) have been carried out, which provides every reason to assert about the interrelation of hydrocarbon deposits formation with the hydrological and geomorphic, sedimentation and biochemical processes occurring in the areas of development of geodynamic structural-tectonic processes, which serves as one of the main hydrological search criteria for hydrocarbon [5].

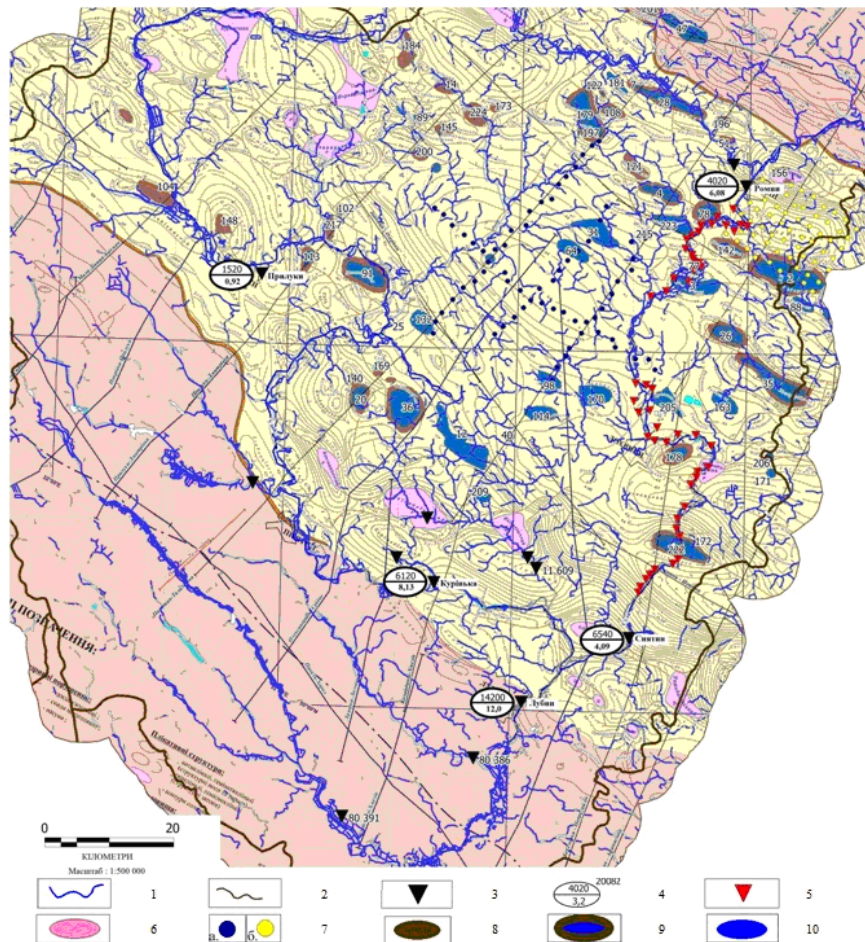


Fig. 3. Map of hydrocarbon deposits location on the structural-tectonic base with elements of river network:

- 1 – riverbeds of rivers Sula, Uday; 2 – boundary of Sula River Basin; 3 – gauging stations; 4 – catchment area of gauging station, on the right – the number of gauging station, the numerator – the catchment area, km², the denominator – the water consumption, m³; 5 – the sampling points of the bottom waters and sediments for soil vapor survey; 6 – the contours of salt stocks; 7 – the points of observation points STAGHT placement: a – on Sribnyanska depression, b – on Bobrykivska area; hydrocarbon deposits: 8 – oil deposits, 9 – oil and gas condensate deposits, 10 – gas and gas condensate deposits

Conducted investigations (including methodological issues) in the river Sula basin for substantiation of hydrological search criterion in the STAGHT within a framework of hydro-geosynergetic biogenic-mantle concepts include:

- Processing of the data of hydrological research for 80 years of field measurements expenditures of water in river basins of DDD;
- calculated characteristics of superficial and underground water discharge;
- carrying out hydrometric measurements with detailed elaboration in the areas of hydrocarbon deposits placement at the relevant riverbed area in order to determine locations of the infiltration and the size of underground river discharge absorption, and to study the chemical composition of the river water on hydrocarbon, as well as methane content of bottom sediments all over the riverbed, taking into account the placement of hydrocarbon deposits.

Carried out analysis of cartographic material, reflecting the value of the surface and underground discharge modules in oil and gas bearing areas (National Atlas of Ukraine, 2007), as well as maps of groundwater discharge modules (based on zoning of Ukraine on the conditions of underground waters formation – the author I. D. Bagriy) provides concept of the quantitative characteristics of river waters infiltration and of possible amounts of dissolved methane, participating in hydrocarbons formation in oil and

gas bearing areas Carpathian trough, DDD, as well as in the Black Sea depression region.

In the process of working out of field methodical research, in accordance with the proposed direct search technology, we selected an experimental site on the river Sula, bounded by two gauging station in the upper alignment river Sula – Romny, with a catchment area of 4020 km², closing post is located on the river Sula – Snitn village with a catchment area of 6540 km². In the area of the channel process Yabluniv's'ke, Skorobogativ's'ke, Krasnozavods'ke, Selyuhov's'ke, Yarmolinets'ke hydrocarbon deposits are placed.

The results of a comprehensive analysis of river flow on the above site, covering an area of over 2000 km², according to data of hydrometric gauges for the entire period of observations (hydrological yearbooks), constituting more than 70 years, evidence of considerable losses of river discharge. The quantities of river water losses vary depending on the dryness of the year from 0,7 m³/s in limiting drought years up to 5–8 m³/s during the years with average normalized discharge of 50 % availability that in daily section is approximately 100 000 – 500 000 m³/s and an annual losses are correspondingly constitute up to about 15 million m³.

Waterlogged outwash plains forming biogenic sequences in the processes of seasonal, annual, secular cycle (in the geological section) of water, flood and geomorphic processes of river basins, form a substantial reserves of bionts over large catchment area of swamps adjacent to the riverbeds with high humus content, producing significant constantly

renewing biogenic methane-water substrates in the processes of oxidative reactions.

For the first time, comprehensive hydrological studies within the framework of hydro-geosynergetic biogenic-mantle concept were conducted, including hydrological measurements of river water with account of existing deposits location under the riverbed of a river Sula and in adjacent areas.

The researches on biota content and methane content, as well as on the capacity of the underlying riverbed sediments were conducted. Capacity of bottom sediments in many areas reached 3 meters or more.

Quantitative characteristics of biogenic methane in catchment areas and underflow sediments were determined, the content of which varied from 10 to 80 %, which in quantitative terms is an average of about 4 000 000 m³ of methane per year, and in years with enhanced discharge characteristics this amount can reach more than 20 million m³. During the research, specially designed by us vacuum decontaminators of deep samples were applied.

The results of the conducted researches (gas-emanation (Rn, Tn), gas-helium surveys) of river water and bottom sediments within the framework of search technology, provide an opportunity to identify zones increased permeability which form infiltration supplies of water-dissolved substrates, as well as mantle nature of the origin of hydrocarbons and their projections, located in the degassing pathways of deposits in the valley of river Sula.

Within the framework of the proposed unifying hypothesis of the origin of hydrocarbons are used the statutes of P. N. Kropotkin on the stage of "Earth's breathing

cycle" (according to V. I. Vernadsky and D. I. Mendeleyev), conversion of biogenic methane-water substrate into complex hydrocarbons in the mantle-plume conditions and its inversion migration along zones of tectonic deformation (pathways of degassing), as was described above, i.e. by complex hydrocarbon branch of degassing (exhalation) of the Earth, which indicators are the mantle elements – helium, nitrogen, hydrogen and decay products (Rn, Tn). The above gas-emanation components are the marker elements of deep-mantle processes.

Similar processes of migration of hydrocarbon components we recorded during forecasting and exploratory researches of numerous structures located at a depth of 40–100 m on the western and eastern Black Sea shelf. Also, for the first time there were conducted researches on the continental slope in the area of Pallas and British structures, where the depth is suitably from 400 to 800 m.

The applying of instrumental complexes developed by us provide the purity of the experiment in the form of complete sealing and degassing of samples taken in rivers and in the sea areas and their pumping on the surface.

Thus, as shown by experience in applying STAHTG (Fig. 4), hydrocarbons deposits formation and its prognostic characteristics should be investigated systematically in the hydrological and geological time section, taking into account the influence of high-temperature conditions and hydrological-biogenic methane-producing processes in close relation to geodynamic deep mantle transformations of biogenic methane-water-dissolved substrates in association with the deep product of fluid-mantle degassing processes, catalysts and decay products (Rn, Tn).

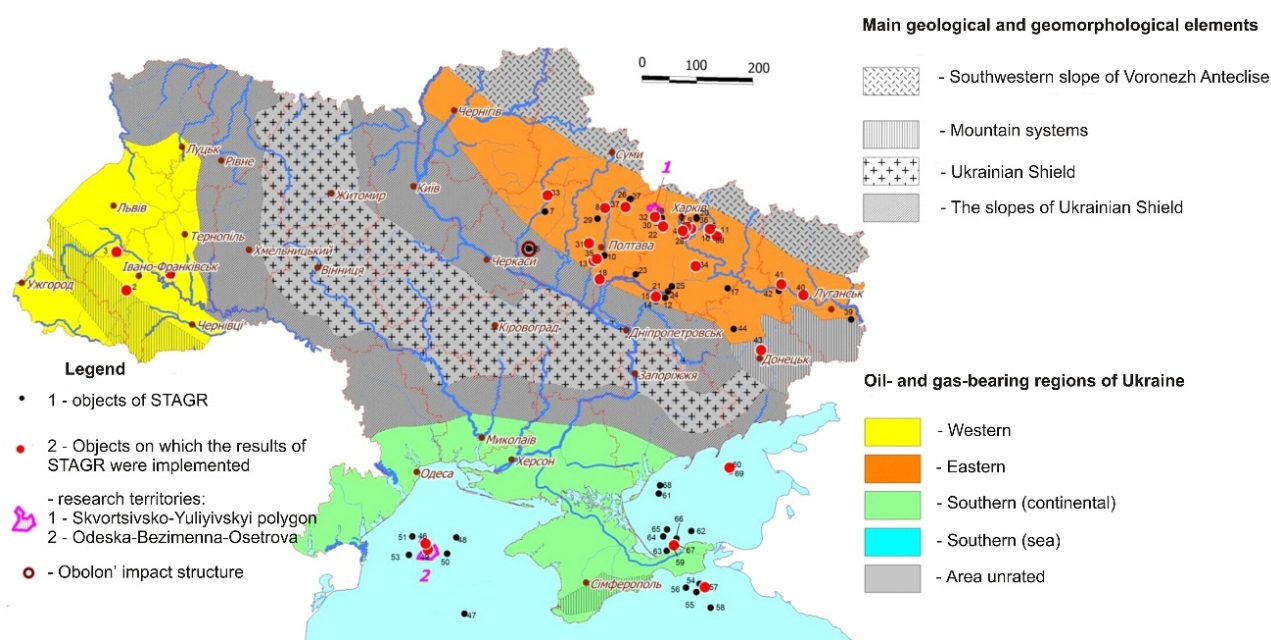


Fig. 4. The results of implementation of promising facilities and areas for petroleum exploration by STAHTG

When developing and implementing of the comprehensive direct search structural-thermo-atmo-hydrological and geochemical technology (STAHTG), created on the basis of hydro-geosynergetic biogenic-mantle concept, we were governed by the following rule (by V. I. Vernadsky): if the forming conditions in the hydrogeologic (stratigraphic) section are observed on the surface, they will certainly appear at a depth – in the crystalline basement.

In order to increase hydrocarbon potential of Ukraine, carrying out the complex of researches in the framework of

hydrogeosynergetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbons formation is provided, for substantiation of new oil and gas bearing areas and objects in the zones of development of mapped structures located within meandering sites of river systems of oil- and gas bearing regions on the basis of a unified search technology STAHTG.

The proposed unified approach provide an opportunity to substantiate the search criteria of petroleum capacity in areas where there are neither depressions zones nor sufficiently thick sedimentary cover, but favorable conditions for hydrocarbons accumulation occur (in zones of

development of river systems, swampy-outwash areas) in crystalline rocks as a result of sufficient generation of biogenic methane-producing sediments and structural-geodynamic, geothermal processes.

These studies should be conducted in the north-western part of the Carpathian trough covering the territory of the upper tributaries of the river Pripyat, Kovel ledge, as well as in the south of Ukraine in the Black Sea depression and in the shelf zone of river deltas – canyons, areas of accumulation of sedimentary-stratigraphic complex.

Список використаних джерел

- Багрий І. Д. Комплексирование методов при изучении взаимосвязи подземных и речных вод / И. Д. Багрий, Г. В. Лисиченко, В. М. Шестопалов // Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена. – К. : Наук. думка, 1988. – С. 223–239.
- Багрий І. Д. Прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід для вирішення геоекологічних та пошукових задач / І. Д. Багрий. – К. : ТОВ "Видав. дім Дмитра Бураго", 2003. – 149 с.
- Багрий І. Д. Новые технологии прогноза месторождений нефти, газа, подземных вод / И. Д. Багрий. – К. : Логос, 2012. – 55 с.
- Багрий І. Д. Розробка геолого-структурно-термо-атмогеохімічної технології прогнозування пошуків корисних копалин та оцінки геоекологічного стану довкілля / І. Д. Багрий. – К. : Логос, 2013. – 512 с.
- Баренбаум А. А. Решение проблемы происхождения нефти и газа на основе биосферной концепции нефтегазообразования / А. А. Баренбаум // Урал. геол. журн. – 2013. – № 2 (92). – С. 3–27.
- Вассоевич Н. Б. Избранные труды. Геохимия органического вещества и происхождение нефти / Н. Б. Вассоевич. – М. : Наука, 1986. – С. 324–339.
- Вернадский В. И. Труды по геохимии / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1994. – С. 69–89.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 2001. – 376 с.
- Гавриш В. К. Глубинные разломы, геотектоническое развитие и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого рифтогена / В. К. Гавриш. – К. : Наук. думка, 1974. – 160 с.
- Генезис углеводородных флюидов и месторождений / отв. ред. А. Н. Дмитриевский, Б. М. Валяев. – М. : ГЕОС, 2006. – 315 с.
- Карцев А. А. Нефтегазовая гидрогеология / А. А. Карцев, С. Б. Вагин, В. П. Шугрин. – М. : Недра, 1992. – 206 с.
- Конторович А. Э. Осадочно-миграционная теория нефтидогенеза: состояние на рубеже XX и XXI вв., пути дальнейшей развития / А. Э. Конторович // Геология нефти и газа. – 1998. – № 10. – С. 8–16.
- Кропоткин П. Н. Дегазация земли и генерация углеводородов / П. Н. Кропоткин // Журн. Всесоюз. хим. об-ва имени Д. И. Менделеева. – 1986. – Т. 31, № 5. – С. 540–547.
- Кудрявцев Н. А. Генезис нефти и газа / Н. А. Кудрявцев. – Л. : Недра, 1973. – 216 с.
- Лукин А. Е. Глубинная гидрогеологическая инверсия как глобальное синергетическое явление: теоретические и прикладные аспекты. Ст. 2. Тектоно-геодинамические аспекты глубинной гидрогеологической инверсии / А. Е. Лукин // Геол. журн. – 2005, а. – № 1 (311). – С. 50–67.
- Лукин А. Е. Глубинная гидрогеологическая инверсия как глобальное синергетическое явление: теоретические и прикладные аспекты. Ст. 3. Глубинная гидрогеологическая инверсия и нефтегазоносность / А. Е. Лукин // Геол. журн. – 2005б. – № 2 (312). – С. 44–61.
- Лукин А. Е. О происхождении нефти и газа (геосинергетическая концепция природных углеводородно-генерирующих систем) / А. Е. Лукин // Геол. журн. – 1999. – № 1 (287). – С. 30–42.
- Менделеев Д. И. Сочинения. Т. 23 / Д. И. Менделеев. – М., 1952. – 205 с.
- Порфирьев В. Б. Вопросы миграции нефти / В. Б. Порфирьев, В. Ф. Линецкий. – Харьков : Изд-во Харьков. ун-та, 1952. – 162 с.
- Соколов Б. А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования / Б. А. Соколов, Э. А. Абля. – М. : ГЕОС, 1999. – 76 с.
- Тимурзиев А. И. Об итогах Первых Кудрявцевских Чтений – Всероссийской конференции по глубинному генезису нефти и газа / А. И. Тимурзиев // Геофиз. журн. – 2013. – Т. 35, № 3. – С. 210–215.
- Трофимук А. А. Стратегия и методика поисков и разведки месторождений нефти и газа : избр. тр. / А. А. Трофимук; гл. ред. А. Э. Конторович. – Н. : Изд-во СО РАН; Филиал "Гео", 2002 – Т. 2. – 244 с.
- Формирование эксплуатационных ресурсов подземных вод платформенных структур Украины / А. Е. Бабинец, Б. В. Боровский, В. М. Шестопалов и др. – К. : Наук. думка, 1979. – 214 с.
- Хаин В. Е. Геодинамические предпосылки нефтегазоносности континентальных склонов глубоководных впадин / В. Е. Хаин, И. Д. Поляков // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 1. – С. 5–14.
- Чебаненко И. И. О глубоком кризисе теории органического происхождения нефти / И. И. Чебаненко // Геол. журн. – 1999. – № 2 (288). – С. 120–128.
- Чекалюк Э. Б. Теория минерального происхождения нефти / Э. Б. Чекалюк // Происхождение и миграция нефти и газа. – К. : Наук. думка, 1978. – С. 14–23.

References

- Bagriy, I. D., Lyschenko, G. V., Shestopalov, V. M. (1988). Integration of methods in the study of the relationship of groundwater and river water. *Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Methods of studying the water cycle*. Kiev: Naukova Dumka, 223–239. [in Russian].
- Bagriy, I. D. (2003). Prediction of fracture zones of high permeability of rocks to solve search and geoeological problems. Kiev: LLC "Dmytro Burago Publishing House", 149 p. [in Ukrainian].
- Bagriy, I. D. (2012). New technologies of forecast for oil, gas, groundwater. Kiev: Logos, 55 p. [in Russian].
- Bagriy, I. D. (2013). Development of geological-structural-thermal-atmogeochemical technology of forecasting of search of minerals and assessment of geoeological environmental state. Kiev: Logos, 512 p. [in Ukrainian].
- Barenbaum, A. A. (2013). Solving the problem of the origin of oil and gas on the basis of biosphere concept of oil and gas formation. *Ural. geol. zh.*, 2, 3–27. [in Russian].
- Vassoevich, N. B. (1986). Selected works. Geochemistry of organic matter and the origin of the oil. Moscow: Nauka, 324–339. [in Russian].
- Vernadskiy, V. I. (1994). Proceedings on geochemistry. Moscow: Nauka, 69–89. [in Russian].
- Vernadskiy, V. I. (2001). The chemical structure of the Earth's biosphere and its environment. Moscow: Nauka, 376 p. [in Russian].
- Gavriish, V. K. (1974). Deep faults, geotectonic development and oil and gas potential of the Dnieper–Donets rifting. Kiev: Naukova Dumka, 160 p. [in Russian].
- Dmitriyevskiy, A. N., Valyayev, B. M. (2006). Genesis of hydrocarbon fluids and deposits. Moscow: GEOS, 315 p. [in Russian].
- Kartsev, A. A., Vagin, S. B., Shugrin, V. P. (1992). Oil and gas hydrogeology. Moscow: Nedra, 206 p. [in Russian].
- Kontorovich, A. E. (1998). The sedimentary-migration theory of naftidogenesis: State at the turn of XX and XXI centuries, the further development. *Geologiya nefi i gaza*, 10, 8–16. [in Russian].
- Kropotkin, P. N. (1986). Degassing of the earth and the generation of hydrocarbons. *Journal of the All-Union Chemical Society of Mendeleev D. I.*, 31, 540–547. [in Russian].
- Kudryavtsev, N. A. (1973). Genesis of oil and gas. Leningrad: Nedra, 216 p. [in Russian].
- Lukin, A. E. (2005). Deep hydrogeological inversion as global synergistic phenomenon: theoretical and applied aspects. Art. 2. Tectonic and geodynamic aspects of deep hydrogeologic inversion. *Geol. Zh.*, 1, 50–67. [in Russian].
- Lukin, A. E. (2005). Deep hydrogeological inversion as global synergistic phenomenon: theoretical and applied aspects. Art. 3. Deep hydrogeological inversion and oil and gas. *Geol. Zh.*, 2, 44–61. [in Russian].
- Lukin, A. E. (1999). On the origin of oil and gas (geosynergetic concept of natural hydrocarbon-generating systems). *Geol. Zh.*, 1, 30–42. [in Russian].
- Mendeleev, D. I. (1952). Works. Moscow, 23, 205 p. [in Russian].
- Porfiriev, V. B., Linetskiy, V. F. (1952). Migration issues of oil. Kharkov: Publishing House of Kharkiv State University, 162 p. [in Russian].
- Sokolov, B. A., Ablya, E. A. (1999). Fluid dynamic model of oil and gas formation. Moscow: GEOS, 76 p. [in Russian].
- Timurziyev, A. I. (2013). On the results of the 1st Kudryavtsev Readings – All-Russian conference on the genesis of deep oil and gas. *Geophys. Zh.*, 35, 210–215. [in Russian].
- Trofimuk, A. A. (2002). Strategy and methodology of prospecting and exploration of oil and gas: selected works. Novosibirsk: Publishing House of the Russian Academy of Sciences; Branch "Geo", 2, 244 p. [in Russian].
- Babinets, A. E., Borevskiy, B. V., Shestopalov, V. M., Lyschenko, G. V. et al. (1979). Formation of The operational resources of groundwater of platform structures of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 214 p. [in Russian].
- Khain, V. E., Polyakov, I. D. (2004). Geodynamic background of oil and gas potential of the continental slopes of deep-sea trenches. *Geology and Geophysics*, 45, 5–14. [in Russian].
- Chebanenko, I. I. (1999). About the deep crisis of the theory of organic origin of oil. *Geol. Zh.*, 2, 120–128. [in Russian].
- Chekalyuk, E. B. (1978). The theory of mineral oil. Origin and migration of oil and gas. Kiev: Naukova Dumka, 14–23. [in Russian].

Надійшла до редколегії 21.01.17

І. Багрій, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: bagrid@ukr.net,
К. Стародубець, мол. наук. співроб.
E-mail: starodubets.kirill@ukr.net
Інститут геологічних наук НАН України
вул. О. Гончара 55-б, м. Київ, 01054, Україна,
Ю. Гордєєва, асп.
E-mail: u_gordeeva@mail.ru
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,
В. Семенюк, гол. геолог
E-mail: V.Semenuk@ukrgv.com
ТОВ "Смарт-Енерджи", вул. Димитрова, 5, м. Київ, 03150, Україна

ГІДРОГЕОСИНЕРГЕТИЧНА БІОГЕННО-МАНТІЙНА ГІПОТЕЗА УТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ ТА ЇЇ РІЛЬ ПРИ ОБГРУНТУВАННІ ПРЯМОПОШУКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

На основі кругообігу речовини в природі розроблено гідрогеосинергетичну біогенно-мантіїну гіпотезу утворення вуглеводнів і, як результат, створено прямопошукову структурно-термо-атмо-гідролого-геохімічну технологію (СТАГГТ). Дана технологія вперше була застосована у успішно впровадженні в процесі прогнозно-пошукових робіт на нафтогазоносних об'єктах України на суші (Дніпровсько-Донецька западина) і в Чорному морі (північно-західний і північно-східний шельфи) з використанням спеціально розроблених апаратурних комплексів. Проведено комплексні гідрологічні дослідження з урахуванням розміщення діючих родовищ у межах басейну р. Сула. Визначено вміст біоти, метаногенності, а також потужності підстиляючих відкладів у межах русла і прируслових ділянок. Визначено кількісні характеристики біогенного метану водозбірних площ і підруслових відкладів. У результаті виділено зони підвищеної проникності, що формують інфільтраційні надходження розчинених у воді субстратів. Визначено мантіїну природу походження ВВ та їхніх проєкцій, розташованих у трубах дегазації родовищ в долині р. Сула. Запропонований уніфікований підхід дозволяє обґрунтувати пошукові критерії нафтогазоносності в районах, де відсутні зони прогинів і потужний осадовий чохол, але існують сприятливі умови для накопичення ВВ в кристалічних породах. Наведено рекомендації щодо виконання досліджень з обґрунтування нових нафтогазоносних територій та об'єктів на основі уніфікованої технології СТАГГТ. Уперше обґрунтовано джерела відновлення вуглеводневих родовищ, що перебувають в експлуатації.

Ключові слова: гідрогеосинергетична біогенно-мантіїна гіпотеза, вуглеводні, міграція вуглеводнів, тектоніка.

І. Багрій, д-р геол. наук, ст. науч. сотруд.
E-mail: bagrid@ukr.net,
К. Стародубец, мл. науч. сотруд.
E-mail: starodubets.kirill@ukr.net
Институт геологических наук НАН Украины
ул. О. Гончара 55-б, г. Киев, 01054, Украина,
Ю. Гордеева, асп.
E-mail: u_gordeeva@mail.ru
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,
В. Семенюк, глав. геолог
E-mail: V.Semenuk@ukrgv.com
ООО "Смарт-Энерджи", ул. Димитрова 5, г. Киев, 03150, Украина

ГИДРОГЕОСИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БИОГЕННО-МАНТИЙНАЯ ГИПОТЕЗА ОБРАЗОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ И ЕЕ РОЛЬ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПРЯМОПОИСКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

На основании круговорота вещества в природе разработана гидрогеосинергетическая биогенно-мантийная гипотеза образования углеводородов и, как результат, создана прямопоисковая структурно-термо-атмо-гидролого-геохимическая технология (СТАГГТ). Рассматриваемая технология впервые была применена и успешно внедрена в процессе прогнозно-поисковых работ на нефтегазоносных объектах Украины на суше (Днепро-Донецкая впадина) и в Черном море (северо-западный и северо-восточный шельфы) с использованием специально разработанных аппаратурных комплексов. Проведены комплексные гидрологические исследования с учетом размещения действующих месторождений в пределах бассейна р. Сула. Определены содержание биоты, метаногенность, а также мощности подстилающих отложений в пределах русла и прирусловых участков. Определены количественные характеристики биогенного метана водосборных площадей и подрусловых отложений. В результате выделены зоны повышенной проницаемости, формирующие инфильтрационные поступления водорастворенных субстратов. Определена мантийная природа происхождения УВ и их проєкций, расположенных в трубах дегазации месторождений в долине р. Сула. Предложенный унифицированный подход позволяет обосновать поисковые критерии нефтегазоносности в районах, где отсутствуют зоны прогибов и мощный осадочный чехол, но существуют благоприятные условия для накопления ОВ в кристаллических породах. Приведены рекомендации по выполнению исследований для обоснования новых нефтегазоносных территорий и объектов на основе унифицированной технологии СТАГГТ. Впервые обоснованы источники восстановления углеводородных месторождений, находящихся в эксплуатации.

Ключевые слова: гидрогеосинергетическая биогенно-мантийная гипотеза, углеводороды, миграция углеводородов, тектоника.

УДК 553.07

М. Мизерная¹, канд. геол. наук, доц.

E-mail: mizernaya58@bk.ru,

Б. Дьячков¹, д-р геол.-минералог. наук, акад. проф., НАН РК

E-mail: bdyachkov@mail.ru,

А. Мирошникова², докторант PhD,

anastasiya-2588@mail.ru,

А. Мизерный¹, докторант PhD,

vostokprom@bk.ru,

Г. Оразбекова¹, докторант PhD,

orazbekova@bk.ru

¹Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

ул. Серикбаева, 19, г. Усть-Каменогорск, 070004, Казахстан

²Филиал РГП "НЦ КПМС РК" "ВНИИцветмет"

Ул. Промышленная, 1, г. Усть-Каменогорск, 070002, Казахстан

КРУПНЫЕ СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВЫЕ ШТОКВЕРКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА КАЗАХСТАНА – УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

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

Целью данных исследований является выявление закономерностей распределения золоторудной минерализации и сопутствующих элементов в золотоносных штоках крупных месторождений золото-сульфидно-кварцевого типа Северного и Восточного Казахстана, определение геолого-структурной позиции рудных штоков.

Методика исследований заключалась в проведении полевых работ в пределах Васильковского рудного поля в северном Казахстане и Секисовского рудного поля в Восточном Казахстане. Был выполнен отбор проб из рудовмещающих магматитов и рудных тел для определения химического состава и выявления закономерностей распределения основных рудных минералов и примесей. Проведены микрозондовый анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6390LV с энергодисперсионной приставкой и сравнительная характеристика рудной минерализации изучаемых месторождений.

Результаты выполненных исследований и сравнительный анализ данных по другим регионам мира показывают, что крупные штоковые золото-сульфидно-кварцевые с теллуридами и висмутосодержащими рудами месторождения Васильковское и Секисовское сформировались в период высокой тектонической активности земной коры, в пределах региональных геологических структур коллизионного типа, в процессе ритмично-пульсационного сдвижения и подворота литосферных плит и блоков. Положение рудных штоков контролируется системами корово-магнийных глубинных разломов, надвиговыми структурами и гипабиссальными интрузиями габбро-диорит-гранодиорит-плагиогранитовой серии. Рудообразование связано с интенсивными процессами тектонического дробления и гидротермально-метасоматического преобразования вмещающих пород, проявляющееся в микроклинизации, альбитизации, пропилитизации, березитизации и окварцевании, а также привнесение рудных минералов. Рудные тела характеризуются Au-Ag-Bi-Te специализацией. Золото двух типов: свободное и связанное с сульфидами, вертикальный диапазон распределения оруденения значительный (более 500–800 м). Связанное золото месторождения Васильковское локализуется в арсенопиритах, на Секисовском месторождении золото-рудная минерализация связана с пиритами нескольких генераций.

Выявлено широкое развитие сложных соединений золота и серебра с теллуром – месторождение Секисовское, с теллуром и висмутом в рудах Васильковского месторождения.

Комплексность руд предполагает постановку задачи разностороннего учета основных и попутных компонентов при проведении всех стадий работ: начиная с геолого-оценочных до эксплуатационной разведки. Современные технологии обогащения, новейшие способы разработки позволяют сейчас отнести эти месторождения к объектам первоочередного промышленного освоения. Их изучение имеет научное значение в вопросах эндогенного рудообразования и создает предпосылки выявления новых перспективных площадей и месторождений как в Казахстане, так и в других регионах мира.

Ключевые слова: месторождение золота, интрузия, штокверк, теллуриды, висмут, Казахстан.

Введение. Территория Казахстана – это уникальный геологический полигон в структуре Центрально-Азиатского подвижного пояса, в котором за длительную геологическую историю сформировались многие промышленные месторождения черных, цветных, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых. На их базе развита мощная промышленная инфраструктура – горнодобывающие и металлургические комбинаты и заводы, работают многие частные компании и предприятия. Созданная за многие десятилетия поколениями геологов и горняков минерально-сырьевая база по-прежнему является основой экономики Казахстана. Однако в настоящее время в связи с истощением запасов обрабатываемых рудных объектов возникла острая необходимость открытия новых месторождений меди, свинца, золота, тантала и других металлов с целью обеспечения сырьем действующих предприятий горно-металлургического комплекса.

Особое значение имеет изучение закономерностей формирования и размещения крупномасштабных месторождений золота – стратегического вида полезных ископаемых Казахстана [2, 4]. В статье приводятся новые данные по геологическим условиям формирования и вещественному составу руд Васильковского и Секисов-

ского золоторудных месторождений для возможного использования этих результатов в практике прогнозно-поисковых и разведочных работ.

Особенности рудообразования в пределах Васильковского рудного поля

Васильковское месторождение расположено в Северном Казахстане в пределах западной части Шатского металлогенической зоны. Пространственно приурочено к метаморфическому фундаменту протерозоя, прорванному габбро-гранитоидными интрузиями зерендинского комплекса Оз-С1. Здесь также проявлены углеродисто-терригенно-карбонатные породы верхнего рифея-венда (шарыкская свита) и терригенные отложения среднего и верхнего ордовика (рис. 1, а).

Главная закономерность заключается в формировании месторождения в среднюю стадию каледонского цикла тектогенеза, в коллизионной геодинамической обстановке, сопровождавшейся активизацией системы глубинных разломов, интенсивными процессами тектонического и гидротермально-метасоматического преобразования интрузивных пород и проявлением многостадийной золото-сульфидно-кварцевой минерализации штокового типа.

В геолого-структурном плане месторождение локализуется в Северо-Кокшетауской купольно-кольцевой структуре, сформированной в узле пересечения региональных разломов северо-западного, северо-восточного и широтного (Широтный) направлений. В результате коллизионного сжатия и активизации разрывной тектоники вме-

щающие породы подверглись надвигово-блоковым перемещениям, рассланцеванию и брекчированию, а месторождение приобрело каркасно-блоковое строение [3]. Тектонические изменения пород четко проявлены в карьере месторождения в виде разрывной трещиноватости, брекчирования, сводового поднятия и плоскостей с зеркалами скольжения и милонитизации (рис. 1, б).

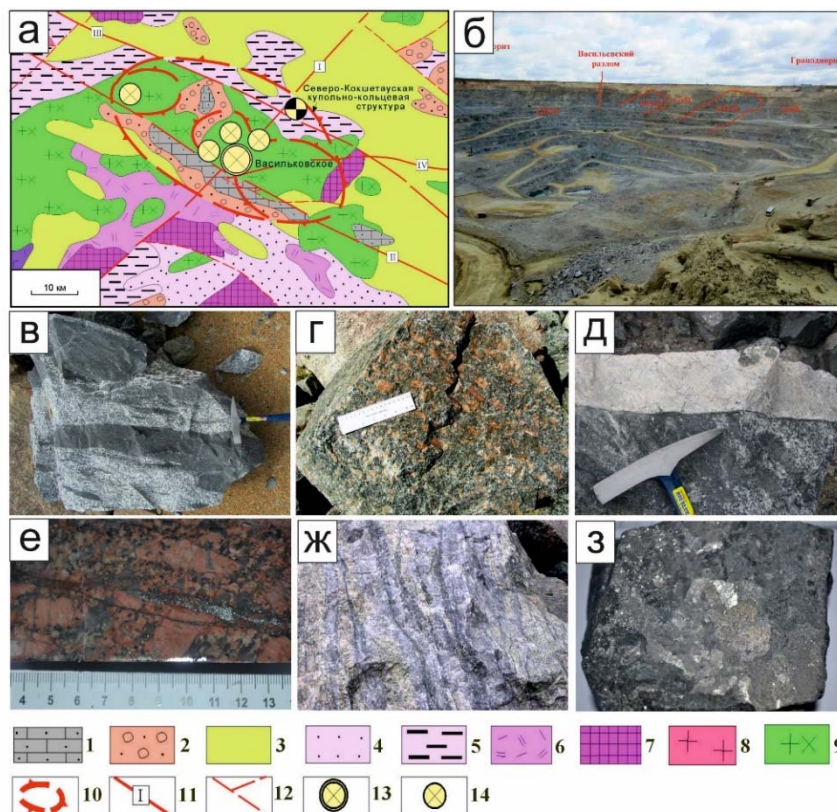


Рис. 1 Васильковское золото-сульфидно-кварцевое месторождение:

- а** – геолого-структурная позиция (Рафаилович М. С., 2004): 1–9 – геологические формации: 1 – терригенно-карбонатная C_1 , 2 – молассовая конгломерат-песчаниковая D_{2-3} , 3 – терригенная, вулканогенно-терригенная O_{1-2} , O_2 , O_{2-3} , 4 – терригенная кварцитопесчаниковая R_3-V (кокшетауская свита), 5 – углеродисто-терригенно-карбонатная R_3-V (шарыкская свита), 6 – порфириодно-порфиритоидная R_{1-2} (кууспекская свита), 7 – амфиболит-гнейсовая PR_{1-2} (зерендинская серия), 8 – лейкогранитовая D_2 (золотоношенский интрузивный комплекс), 9 – батолитов пестрого состава O_3-S_1 (зерендинский интрузивный комплекс); 10 – купольно-кольцевые структуры; 11 – региональные разломы: I – Васильковско-Березовский, II – Донгулягашский, III – Алексеевский, IV – Широтный, 12 – разломы второго и третьего порядка, 13–14 – золото-сульфидно-кварцевые объекты штокеркового типа: 13 – очень крупное Васильковское месторождение, 14 – мелкие месторождения и рудопроявления;
- б** – общий вид карьера, **в** – контакт габброидов и гранодиоритов, **г** – площадная калишпатизация, **д** – прожилок аплитовидного гранита, **е** – рудные прожилки и гнезда, рассекающие микроклинизированные граниты, **ж** – фрагмент рудоносного штокера с прожилками золото-арсенопирит-кварцевого состава, **з** – рудоносная брекчия

Интрузивные породы объединяются в две серии: габбровую (габбро, габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты) и гранодиоритовую (плагиограниты, гранодиориты, граниты), внутри которой имеются фациальные разновидности. Габброиды прорываются гранодиоритами, между ними установлен резкий интрузивный контакт (рис. 1, в). Гранодиориты в раннещелочную стадию подверглись интенсивной площадной калишпатизации с идиоморфными порфиробластами микролина красного, розовато-серого цветов (рис. 1, г), составляющими от 5–10 до 45–70 % от объема породы. На отдельных участках массива в них также проявлена площадная альбитизация с образованием кварц-мусковит-альбитовых метасоматитов белой окраски (рис. 1, д). К более поздним относятся редкие жилы пегматитов, аплитовидных гранитов и граносиенитов.

Основные рудные тела сформировались в тектонически нарушенной контактовой зоне габброидов и гранодиоритов. Рудообразование сопровождалось интенсивным гидротермально-метасоматическим изменением вмещающих интрузивных пород в кислотную стадию метасоматоза (березитизация, окварцевание) с образованием системы многочисленных ветвящихся золото-арсенопирит-кварцевых прожилков (рис. 1, е). В результате этих процессов в центральной части месторождения сформировался крупный золоторудный штокер (рис. 1, ж, з) корневидной формы, с размерами на поверхности – первые сотни метров и вертикальной протяженностью до 1,0–1,5 км. Средние содержания золота 3–5 г/т [3, 11].

Новые результаты исследования авторов показывают, что зоны площадной микроклинизации пересекаются более поздними золотоносными прожилками и практически являются дорудными. По данным растровой

электронной микроскопии в них наблюдаются микровключения циркона, монацита и флюорита, отмечается также вкрапленность галенита и халькопирита. По масс-спектрометрии повышены значения (г/т): Rb (182,6), Nb (17,48), Sn (5,04), Mo (3,99). Среди редких земель характерные элементы La, Ce, Nd, Pr, а также Cd, Dy, Er, Yb, что согласуется с результатами масс-спектрометрии. Благородные и сопутствующие элементы имеют невысокие значения (г/т): Au (0,07), Ag (0,20), As (15,4) и Sb (1,84).

Альбитизация, которая проявилась в габброидах, гранодиоритах и гранитах, имеет площадное и локальное развитие. Процесс альбитизации сопровождался привнесением редких щелочей (г/т): Li (1212), Rb (1282) и Cs (41,25) и редких элементов: Nb (38,92), Ta (6,26), Be (7,03), Sn (17,58). В альбитизированных гранитах также

повышены содержания Zn, Pb, Cu, Bi при низких значениях As (11,3), Sb (1,33), Ag (0,85), Au (0,14). По растровой электронной микроскопии для этих гранитов типичны редкометалльные минералы танталит-колумбит (с примесью W – 3,73 вес. %), касситерит (с примесью Ta – 2,24 вес. %) и колумбит, ассоциирующие с кварцем, альбитом, фтористым мусковитом и фторапатитом (рис. 2, а, б). Микровключение танталоносного минерала (Ta – 77,04 вес. %) обнаружено также в измененных габброидах (рис. 2, в). Размеры этих минералов изменяются от первых единиц до 50 мкм. Как видно, на месторождении, кроме золота, проявлена редкометалльная минерализация в кварц-мусковит-альбитовых метасоматитах, что необходимо учитывать при дальнейших оценочных работах и в технологии обогащения руд.

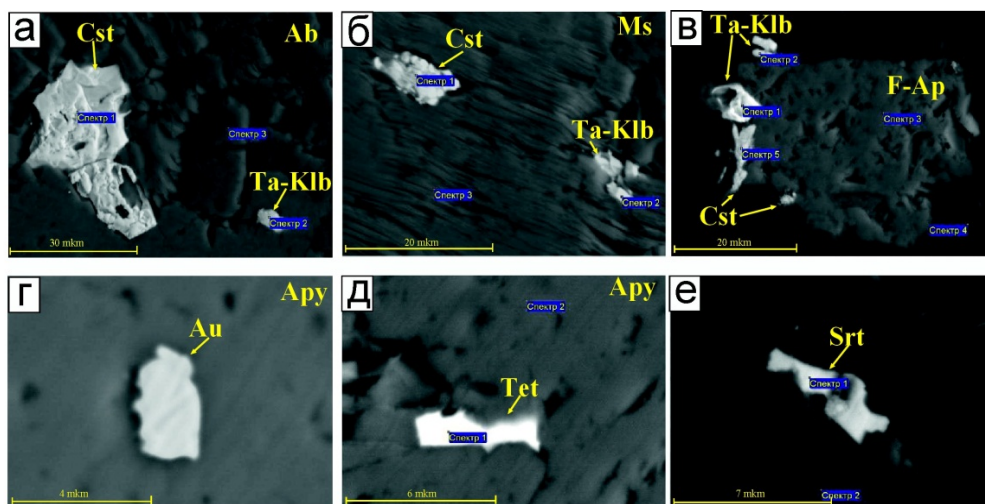


Рис. 2. Микровключения редкометалльных минералов, золота и сульфидов в альбитизированных гранитах Васильковского месторождения. Изображение на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV (Аналитик А. В. Русакова):

- а** – вкрапленность касситерита (Cst) и танталит-колумбита (Ta-Klb) в альбите (Ab) и **б** – во фтористом мусковите (Ms);
в – микровключения касситерита (Cst) и танталит-колумбита (Ta-Klb) на контакте с фторапатитом (F-Ap);
г – золото (Au) комковидной формы в арсенопирите (Apy); **д** – вкрапленность тетрадимита (Tet) и **е** – сарторита (Srt)

В кислотную стадию метасоматоза на месторождении сформировался рудоносный штокверк, представленный кулисообразными, субпараллельными и взаимопересекающимися золотоносными жилами и прожилками. Стадийность минерализации: 1) пирит-пирротин-марказит-кварцевая (ранняя); 2) золото-пирит-арсенопирит-кварцевая; 3) золото-висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевая; 4) золото-полиметаллическая рудная и 5) кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая поздняя [2, 12, 13].

Высокоточные электронно-микроскопические исследования, проведенные на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV, показали, что основная масса золота связана с пирит-арсенопирит-кварцевой и висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциациями. Выделены две генерации золота: в арсенопирите и свободное в кварцевых жилах. Размеры золотинок составляют от десятых долей мкм до 0,2 мм, формы округлые, амёбообразные, комковидные и неправильные, реже в виде ромбододекаэдрических кристаллов и их сростков. Главным минералом-индикатором золотого оруденения является арсенопирит нескольких генераций, образующий пластинчатые и зернистые скопления. Содержит примеси Bi (15,93 вес. %), Te (9,83 вес. %) и микровключения золота комковидной формы размером 1–3 мкм (рис. 2, г). По данным растровой электронной микроскопии в этих зернах содержание Au – 2,54–2,65 вес. %. В ассоциации с арсенопиритом фиксируются зерна тетрадимита и сарторита (рис. 2, д, е).

По результатам масс-спектрометрии руды обогащены (г/т): Fe (75860), Ti (6547), V (293,8) и Mn (246,7). Отмечаются высокие содержания As (44960), а также Cu (461,2), Sb (71,5) и Bi (85,95). Среди редких и редкоземельных элементов повышены значения Rb (217,1), Li (91,0), Sn (14,96), Nd (9,68), Dy (12,54). Руды характеризуются повышенной калиевой щелочностью (K/Na = 2,7).

Главные элементы-индикаторы месторождения – Au, As, Bi, Te, менее контрастными являются W, Sb, Ag, Cu, Pb, Hg. Золото – сквозной элемент с содержаниями (г/т): в околорудных породах – 0,37, в минерализованных зонах – 1,0, в рудных телах – 3,7, рудных столбах – более 10. Средние и высокие содержания золота характерны для центральной части рудного штокверка. Наиболее крупные (мощностью до 0,5–1,0 м) золотоносные жилы развиваются во фронтальной зоне. Висмут тесно связан с пирит-арсенопиритовой минерализацией, его содержание во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах – 10 г/т, в прожилковых – 10–50 г/т, в рудных столбах – до 100–1500 г/т. Золото образует тесные корреляционные связи с элементами рудной стадии – Bi, As, Ag, Pb, Cu.

В пострудную стадию на месторождении проявилась кальцит-кварц-серицитовая, флюорит-карбонатная, кварц-турмалиновая и карбонат-эпидот-пренитовая минерализация, представленная в виде жил, прожилков и гнезд. Наиболее крупные жилы карбонат-флюоритового сос-

тава прослеживаются в нижней части карьера. Васильковское месторождение по запасам относится к крупным объектам и является одним из перспективных в стратегии укрепления золоторудного потенциала Казахстана [3].

Условия формирования рудных штоков на Секисовском месторождении

Секисовское месторождение размещается в Восточном Казахстане в пределах Рудноалтайской металлогенической зоны Большого Алтая [1, 2]. Рудный Алтай – это крупная рудоносная структура региональной ранговости, в которой в раннюю стадию герцинид ($D_{1e}-D_{3fr1}$) сформировались многие промышленные колчеданно-полиметаллические и медно-колчеданные месторождения вулканогенного генезиса с богатыми комплексными рудами (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Pt и др.). Месторождения связаны с

группой базальт-андезит-риолитовых формаций, дифференцированных и контрастного ряда, размещаются на нескольких рудоносных геохронологических уровнях девонского вулканогенно-осадочного разреза [9].

В среднюю стадию герцинского цикла (C_1-C_3) в связи со сменой геодинамического режима геологические структуры Рудного Алтая развивались в коллизионной обстановке в результате сближения и состыковки активных окраин Казахского и Горноалтайского микроконтинентов. Непосредственно в Рудноалтайской зоне в эту стадию сформировались ареалы габбро-диорит-гранодиорит-плагиигранитовых интрузий (змеиногорский комплекс C_{2-3}), с которыми связано Секисовское месторождение золото-теллуридной формации, представленное брекчированными золото-сульфидными зонами и штоками (рис. 3, а) [7, 8].

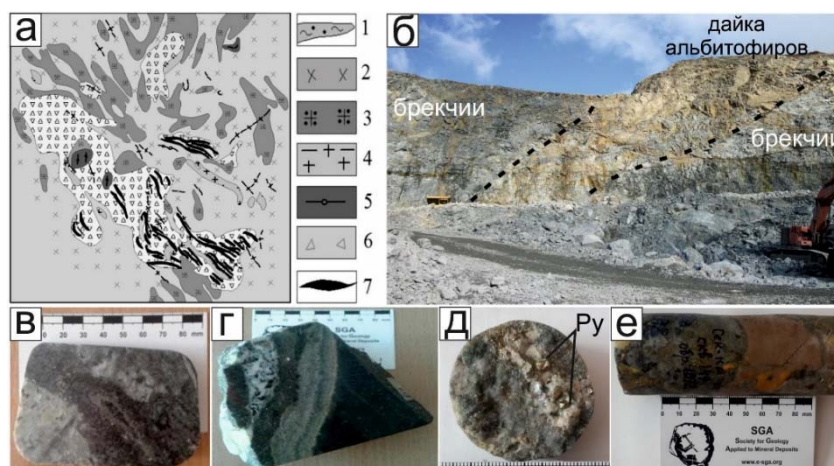


Рис. 3. Геологическое строение Секисовского месторождения:

- а – схема геологического строения и геологический разрез месторождения (по материалам "Востказгеология");
 1 – четвертичные отложения; 2 – гранодиориты, кварцевые диориты; 3 – биотит-роговообманковые граниты, плагииграниты;
 4 – аплитовидные граниты, гранит-порфиры; 5 – плагиигранит-порфиры змеиногорского комплекса (C_{2-3});
 6 – эксплозивные брекчии смешанного и кислого состава; 7 – золоторудные тела;
 б – карьер месторождения, тела брекчий, дайка альбитофиров; в – рудоносные брекчии;
 г – контакт брекчий с габбро-диоритами, метасоматические изменения во вмещающих магматитах (светлое);
 д – золотоносные кварц-карбонатно-сульфидные и кварцевые прожилки в брекчиях кислого состава;
 е – брекчии смешанного состава

В структуре рудного поля ограничено проявлены вулканогенно-осадочные породы (пихтовская свита D_{3fr1}) и песчаниково-алевролитовые отложения (тарханская свита C_{1t1}), а основная его часть сложена магматитами змеиногорского комплекса и рыхлыми четвертичными отложениями. В составе этого комплекса выделяются четыре интрузивные фазы: 1) габбро, габбро-диориты; 2) диориты, гранодиориты; 3) плагииграниты; 4) граниты. Дайковая серия представлена мелко- и микрозернистыми диоритами, диоритовыми порфирами, аплитовидными гранитами, гранит-порфирами и кварцевыми альбитофирами (рис. 3, б).

Для рудного поля характерна повышенная тектоническая нарушенность пород, фиксируемая брекчированными, смятыми и будинированными текстурами магматитов, рудно-эксплозивными брекчиями в виде обломков интрузивных пород (размером от первых сантиметров до 2 м более), сцементированных основной массой пропилитового и березитового состава с золото-сульфидной минерализацией (рис. 3, в, г).

Рудоконтролирующее значение придается Шемонаихо-Секисовской зоне разломов северо-западного простирания, которые в сочетании с флексуобразными изгибами и разрывами других направлений контролировали размещение брекчий и рудных тел. Субмеридиона-

льные и северо-восточные нарушения с субвертикальными и крутыми углами падения являются более поздними и обусловили блоковую структуру месторождения.

Выходы рудовмещающих брекчий трубообразной и линейно-вытянутой формы (размерами в плане от 40 x 100 м до 120 x 500 м) прослеживаются на глубину более 950 м. Типы рудоносных метасоматитов зависели от состава исходных пород: 1) пропилито-сульфидные (по габброидам, диоритам) и 2) березито-сульфидные (по плагиигранитам и порфирам), на которые накладывались золотоносные кварц-карбонатно-сульфидные и кварцевые прожилки (рис. 3, д, е). Содержание сульфидов в цементе брекчий изменяется от долей процента до 15 % (в среднем 5 %). Рудообразование сопровождалось выносом из вмещающих пород Si, Na, привносом Fe, K, CO_2 , SO_3 и рудных компонентов (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Te, Bi, Mo). Золото и серебро в березитах и прожилках положительно коррелируется с Pb, Zn, Cu, Bi, а в пирит-кварцевых прожилках еще и с Mo (+0,76). Золото связано с сульфидами, однако прямой корреляции между содержаниями сульфидов и золота не установлено. Всего отмечается пять минерализованных золотоносных зон, в которых сосредоточены основные рудные тела. Последние характеризуются лентовидной и линзовидной

формой, отмечаются и столбообразные тела в узлах пересечения разрывов. По падению рудные тела не оконтурированы, мощность их варьирует от 0,6 до 3,3 м [11].

Золото-сульфидное оруденение вкрапленное и прожилково-вкрапленное. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда, магнетит, ильменит, рутил, тетрадимит, висмутин и др. Все типы руд обогащены пиритом (в протолочке более 17 кг/т). В вертикальной зональной колонне выделяются два минеральных парагенезиса: ранний золото-железо-медно-редкометалльный (на глубоких и средних горизонтах) и поздний золото-серебро-висмут-теллур-полиметаллический (на верхнем горизонте). Поздняя минерализация ассоциирует с дайками кварцевых альбитофитов, гранит-порфиров и фельзитов. Здесь же развиты жилки кварц-карбонатного и кварц-сульфидного составов [10, 15].

Золото двух типов – свободное в виде зерен неправильной, прожилковидной и удлиненных форм, выполняющих трещинки или на стыке зерен в пирите и кварце, и тонкодисперсное в пирите (Au – 10 г/т, Ag – 100 г/т, Bi – 290 г/т) (рис. 4, а-г).

Индикаторы оруденения – Au, Bi, Ag, попутные компоненты – Mo, W, Cu, Pb, Zn, Te, Co и др. Золото имеет бимодальное распределение в первичных рудах и зоне окисления. В первичных рудах доминирует золото класса 2–6 г/т (44,5 %) с концентрацией в рудных столбах до 500–600 г/т. В зоне окисления содержания Au – 10–60 г/т. Серебро в зоне окисления имеет неравномерное распределение преимущественно класса 20–60 г/т (49,1 %). Для первичных руд характерны моды Ag 2–10 г/т (55 %) и 20–35 г/т (12,5 %). Кривые распределения Ag/Au для зоны окисления и первичных руд повторяют друг друга. Секивовское месторождение имеет промышленное значение и в настоящее время разрабатывается.

Обсуждение. Выполненные исследования и анализ материалов по другим регионам Казахстана и зарубежных стран показывают, что крупные золото-сульфидно-кварцевые месторождения штокверкового типа формируются в региональных геологических структурах коллизионного типа в процессе ритмично-пульсационного сдвижения и подворота литосферных плит и блоков, в периоды высокой тектонической активности земной коры. Их размещение контролируется системами корово-магнийных глубинных разломов, надвиговыми структурами и гипабиссальными интрузиями габбро-диорит-гранодиорит-плагитогранитовой серии [1, 5, 7–9]. Рудообразование связывается с интенсивными процессами тектонического преобразования и гидротермально-метасоматического изменения исходных магматических пород (микроклинизация, альбитизация, пропилитизация, березитизация и окварцевание) и формированием золотоносных штокверков и эруптивных брекчий промышленного значения [6, 14]. Рудные тела характеризуются Au-Ag-Bi-Te специализацией. Золото свободное и связанное с сульфидами, вертикальный диапазон распределения оруденения значительный (более 500–800 м).

Рассматриваемые Васильковское и Секивовское месторождения сформировались в крупных горнорудных районах Казахстана, представлены золотоносными штокверками и брекчиями (с содержаниями золота от первых единиц до десятков г/т), обладают высоким сырьевым потенциалом, с перспективами прироста запасов на глубину и по флангам в пределах прогнозируемых минерализованных зон. Руды характеризуются разнообразием теллуридов золота, серебра, высокое содержание в них минералов висмута и проявление редкометальной специализации (Sn, Nb, Ta) повышает рентабельность освоения месторождений данного типа.

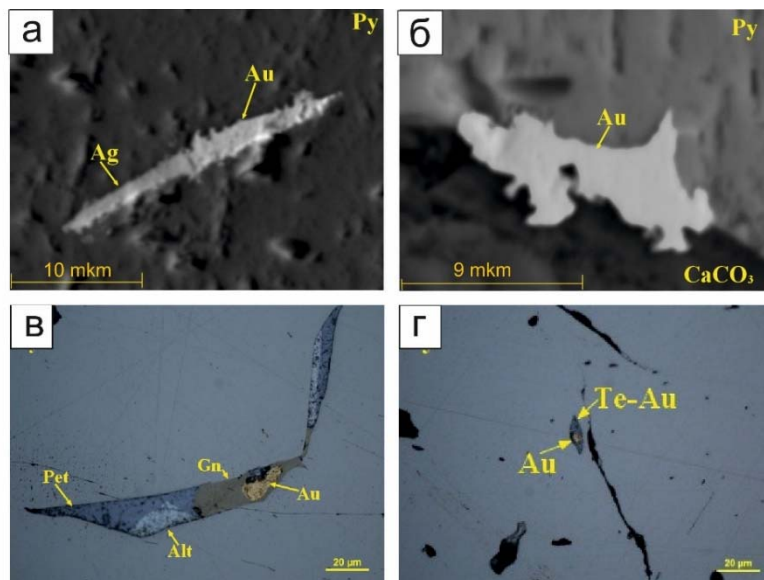


Рис. 4. Золото прожилковое и тонкодисперсное в кварце и пирите:

а – сросток самородного серебра (Ag) и золота (Au) в пирите (Py);

б – самородное золото (Au) на стыке зерна кальцита (CaCO_3) и пирита (Py);

в – самородное золото (Au) и алтаит (Alt) в пирите (Py); **г** – золото (Au) в сростке с теллуrowисмутидом (TeBi) в пирите (Py)

Выводы. Выявлено широкое развитие сложных соединений золота и серебра с теллуром – месторождение Секивовское, а в рудах Васильковского месторождения – с теллуром и висмутом.

Комплексность руд предполагает постановку задачи разностороннего учета основных и попутных компонентов при проведении всех стадий работ, начиная с гео-

лого-оценочных до эксплуатационной разведки. Современные технологии обогащения, новейшие способы разработки позволяют сейчас отнести эти месторождения к объектам первоочередного промышленного освоения. Их изучение имеет научное значение в вопросах эндогенного рудообразования и создает предпосылки выявления новых перспективных площадей и месторождений, как в Казахстане, так и в других регионах мира.

Авторы высказывают благодарность руководству и специалистам компаний Hambledon Mining и ТОО "Казцинк". Исследования выполнялись в рамках государственной темы № 49-313-2017, МОН РК.

Список использованных источников

1. Гигантские месторождения золота Центральной Азии. Укрепление золоторудного потенциала Казахстана / под ред. Г. Р. Бекжанова. – Алматы, 2014. – С. 35–124.
2. Золотоносность арсенопирита золотосульфидных месторождений Восточного Казахстана / К. Р. Ковалев, Ю. А. Калинин, Е. А. Наумов и др. // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 2. – С. 225–242.
3. Рафаилович М. С. Геология золота Центральной Азии: эволюция оруденения, метасоматические формации, взрывные брекчи / М. С. Рафаилович. – Алматы, 2013. – С. 361–385.
4. Рафаилович М. С. Золото недр Казахстана / М. С. Рафаилович. – Алматы, 2009. – С. 74–89.
5. Рафаилович М. С. Крупные месторождения золота в черносланцевых толщах: условия формирования, признаки сходства / М. С. Рафаилович, М. А. Мизерная, Б. А. Дьячков. – Алматы, 2011. – С. 102–143.
6. Gold deposits of Western Siberia and Eastern Kazakhstan: types and ages of mineralization, correlation with magmatic events / E. Naumov, A. Borisenko, K. Kovalev, Y. Kalinin, G. Fedoseev, R. Seltmann // Let's Talk Ore Deposits: 11th SGA Biennial Meeting. – Antofagasta. – 2011. – P. 82–84.
7. Gold-tellurium deposits formation conditions, mineralogical features / V. A. Krenev, N. F. Drobot, S. V. Fomichev, U. K. Aripov, E. A. Dunin-Barkovskay // Petrochemistry And Petroleum Refining Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2015. – Vol. 49, Is. 4. – P. 532–535.
8. Kimozova T. I. Geologic position, age, and petrogenesis of plagiogranites in northern Rudny Altai Russian / T. I. Kimozova, A. V. Travin // Geology and Geophysics – 2013. – № 54. – P. 1305–1318.
9. Kruk N. N. Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: Implication for continental crust history and magma sources / N. N. Kruk // Journal of Asian Earth Sciences. – 2011. – Vol. 42, № 5. – P. 928–948.
10. Mineralization style and geochronology of the Sekisovka gold deposit, eastern Kazakhstan / E. Naumov, A. Mizerny, R. Seltmann, K. Kovalev, A. Izokh // Mineral deposit research for a high-tech world. – 2013. – Vol. 1–4. – P. 1164–1167.
11. Mineralogical and geochemical characteristics of the Vasilkovskoye gold deposit (North Kazakhstan) / A. Dolgoplova, R. Seltmann, A. Miroshnikova, M. Mizernaya // Mineral resources in a sustainable world. – 2015. – Vol. 1–5. – P. 77–80.
12. Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: implications for gold depositional processes / Su Wenchao, Zhang Hongtao, Hu Ruizhong, Ge Xi, Xia Bin, Chen Yanyan, Zhu Chen // Mineralium Deposita. – 2012. – Vol. 47, Is. 6. – P. 653–662.
13. Physico-chemical formation conditions and age of the Vasilkovskoye gold deposit (Northern Kazakhstan) / M. O. Khomenko, N. A. Gibsher, A. A. Tomilenko, T. A. Bulbak, M. A. Ryabukha, D. V. Semenova // Geology and Geophysics. – 2016. – Vol. 57, № 12. – P. 2192–2217.
14. Redin Yu. O. Gold-bismuth-telluride mineralization in ores from the Serebryanoe deposit of the Lugokan ore cluster of Eastern Transbaikalia / Yu. O. Redin, V. M. Kozlova // Russian Journal of Pacific Geology. – 2014. – Vol. 8, Is. 3. – P. 187–199.
15. Seltmann R. Magmatism and metallogeny of the Altai and adjacent large igneous provinces with an introductory essay on the Altai / R. Seltmann, A. S. Borisenko, G. Fedoseev // International Association

Genesis of Ore Deposits (IAGOD). Guidebook Series 16, CERCAMS/NHM London. – 2007. – P. 188–294.

References

1. Bekzhanov, G. K. (Ed.) (2014). Gigantskie mestorozhdeniya zolota Tsentral'noy Azii. Ukrepleniye zolotorudnogo potentsiala Kazakhstana. Almaty, 35–124. [in Russian].
2. Kovalev, K. R., Kalinin, Yu. A., Naumov, E. A., Kolesnikova, M. K., Korolyuk, V. N. (2011). Zolotonosnost' arsenopirita zolotosul'fidnykh mestorozhdeniy Vostochnogo Kazakhstana. *Geologiya i geofizika*, 52, 2, 225–242. [in Russian].
3. Rafailovich, M. S. (2013). Geology of gold of Central Asia: evolution of gold ore depositional processes, metasomatic formation, explosive breccia. Almaty, 361–385. [in Russian].
4. Rafailovich, M. S. (2009). Gold deposits of Kazakhstan. Almaty, 74–89. [in Russian].
5. Rafailovich, M. S., Mizernaya, M. A., D'yachkov, B. A. (2011). Krupnye mestorozhdeniya zolota v chernoslantsevykh tolshchakh: usloviya formirovaniya, priznaki skhodstva. Almaty, 102–143. [in Russian].
6. Naumov, E., Borisenko, A., Kovalev, K., Kalinin, Y., Fedoseev, G., Seltmann, R. (2011). Gold deposits of Western Siberia and Eastern Kazakhstan: types and ages of mineralization, correlation with magmatic events. *Let's Talk Ore Deposits: 11th SGA Biennial Meeting*. Antofagasta, 82–84.
7. Krenev, V. A., Drobot, N. F., Fomichev, S. V., Aripov, U. K., Dunin-Barkovskay, E. A. (2015). Gold-tellurium deposits formation conditions, mineralogical features. *Petrochemistry And Petroleum Refining Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 49, 4, 532–535.
8. Kimozova, T. I., Travin, A. V. (2013). Geologic position, age, and petrogenesis of plagiogranites in northern Rudny Altai Russian. *Geology and Geophysics*, 54, 1305–1318.
9. Kruk, N. N. (2011). Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: Implication for continental crust history and magma sources. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42, 5, 928–948.
10. Naumov, E., Mizerny, A., Seltmann, R., Kovalev, K., Izokh, A. (2013). Mineralization style and geochronology of the Sekisovka gold deposit, eastern Kazakhstan. *Mineral deposit research for a high-tech world*, 1–4, 1164–1167.
11. Dolgoplova, A., Seltmann, R., Miroshnikova, A., Mizernaya, M. (2015). Mineralogical and geochemical characteristics of the Vasilkovskoye gold deposit (North Kazakhstan). *Mineral resources in a sustainable world*, 1–5, 77–80.
12. Wenchao, Su, Hongtao, Zhang, Ruizhong, Hu, Xi, Ge, Bin, Xia, Yanyan, Chen, Chen, Zhu (2012). Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: implications for gold depositional processes. *Mineralium Deposita*, 47, 6, 653–662.
13. Khomenko, M. O., Gibsher, N. A., Tomilenko, A. A., Bulbak, T. A., Ryabukha, M. A., Semenova, D. V. (2016). Physico-chemical formation conditions and age of the Vasilkovskoye gold deposit (Northern Kazakhstan). *Geology and Geophysics*, 57, 12, 2192–2217.
14. Redin, Yu. O., Kozlova, V. M. (2014). Gold-bismuth-telluride mineralization in ores from the Serebryanoe deposit of the Lugokan ore cluster of Eastern Transbaikalia. *Russian Journal of Pacific Geology*, 8, 3, 187–199.
15. Seltmann, R., Borisenko, A. S., Fedoseev, G. (2007). Magmatism and metallogeny of the Altai and adjacent large igneous provinces with an introductory essay on the Altai. *International Association Genesis of Ore Deposits (IAGOD)*, Guidebook Series 16, CERCAMS/NHM London, 188–294.

Надійшла до редколегії 10.06.17

M. Mizernaya¹, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.

E-mail: mizernaya58@bk.ru,

B. Dyachkov¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Acad. of NSA KR

E-mail: bdyachkov@mail.ru,

A. Miroshnikova², Doctoral student

anastasiya-2588@mail.ru,

A. Mizerny¹, Doctoral student

vostokprom@bk.ru,

G. Orazbekova¹, Doctoral student

orazbekova@bk.ru

1 East Kazakhstan state technical university named D. Serikbaev

19 Serikbaeva Str., Ust Kamenogorsk, 070004, Kazakhstan

2 "NC of KPMC of KR" SubDepartment "VNiltzvetmet"

1 Promishlennaya Str., Ust Kamenogorsk, 070004, Kazakhstan

LARGE SULFIDE-QUARTZ STOCKWORK GOLD DEPOSITS OF KAZAKHSTAN – FORMATION CONDITIONS AND PREDICTING CRITERIA

The objective of the present study is to identify gold mineralization and associated elements distribution patterns in gold-bearing stockworks of gold-sulphide-quartz type large deposits in Northern and Eastern Kazakhstan and to detect geological and structural position of x-ore stockworks. Main methods are field studies within the Vasilkovskoye ore field in northern Kazakhstan and the Sekisovskoye ore field in eastern Kazakhstan. Samples of ore-bearing magmatic rocks and ore bodies were taken to determine the chemical composition and distribution patterns of the main ore minerals and impurities. Microprobe analysis using a scanning electron JSM 6390LV microscope with an energy-dispersive attachment, comparative characteristics of ore mineralization in the fields studied was made.

Results of the study of the completed research and comparative analysis of data from other regions of the world show that large stockwork gold-sulphide-quartz with tellurides and bismuth-bearing Vasilkovskoye and Sekisovskoye ore deposits formed in a period of high tectonic activity in the earth's crust within regional geologic collision type structures, in the process of rhythmically pulsating displacement and tuck in the lithospheric plates and blocks. The position of ore stockworks is controlled by crust-magnesium deep splits, thrust structures and hypabyssal

intrusions of gabbro-diorite-granodiorite-plagiogranite series. The mineralization is associated with intense tectonic crushing processes and hydrothermal-metasomatic transformation of host rocks, manifested in microclinization, albitization, propylitic alteration, beresitization and silicification as well as injection of ore minerals. The ore bodies are characterized by Au-Ag-Bi-Te specialization. The gold is of two types: free and banded with sulfides, the mineralization vertical distribution range being significant (more than 500–800 m). The banded gold deposits in the Vasilkovskoye are localized in arsenopyrites, in the Sekisovskoye deposit gold mineralization is banded with pyrites of several generations. Scientific novelty is that complex compounds of silver and gold with tellurium have been revealed in the Sekisovskoye and, with tellurium and bismuth in ores of the Vasilkovskoye deposit.

The complexity of ores involves setting a versatile task of basic and trace elements recording during all stages of work: from geological evaluation to production exploration. Modern processing technology and the latest development techniques allow classifying those fields as objects of industrial development priority. Studying them has scientific significance in the matter of endogenous ore formation, and creates a prerequisite to identifying promising new areas and deposits, both in Kazakhstan and in other parts of the world.

Keywords: gold deposit, intrusion, stockwork, tellurides, bismuth, Kazakhstan.

М. Мізерна¹, канд. геол.-мінерал. наук, доц.

E-mail: mizernaya58@bk.ru,

Б. Дьячков¹, д-р геол.-мінералог. наук, проф., акад. НАН РК

E-mail: bdyachkov@mail.ru,

А. Мірошникова², докторант PhD.

anastasiya-2588@mail.ru,

А. Мізерний¹, докторант PhD.

vostokprom@bk.ru,

Г. Оразбекова¹, докторант PhD.

orazbekova@bk.ru

¹Східно-Казахстанський державний технічний університет ім. Д. Серікбаєва

вул. Д. Серікбаєва, 19, м. Усть-Каменогорськ, 070004, Республіка Казахстан

²Філіал РГП "НЦ КПМС РК" "ВНІцветмет"

вул. Промислова, 1, м. Усть-Каменогорськ, 070004, Республіка Казахстан

ВЕЛИКІ СУЛЬФІДНО-КВАРЦОВІ ШТОКВЕРКОВІ РОДОВИЩА ЗОЛОТА КАЗАХСТАНУ – УМОВИ ФОРМУВАННЯ, КРИТЕРІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ

Мета – виявлення закономірностей розподілу золоторудної мінералізації та супутніх елементів у золотоносних штокверках великих родовищ золото-сульфідно-кварцового типу Північного і Східного Казахстану, визначення геолого-структурної позиції в рудних штокверках.

Методика – польові дослідження в межах Васильківського рудного поля в північному Казахстані й Секісовського рудного поля у Східному Казахстані. Відбір проб з рудовмісних магматитів і рудних тіл для визначення хімічного складу і виявлення закономірностей розподілу основних рудних мінералів і домішок. Були проведені мікрзондовий аналіз за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM 6390LV з енергодисперсійною приставкою та порівняльна характеристика рудної мінералізації досліджуваних родовищ.

Результати: виконані дослідження і порівняльний аналіз даних з інших регіонів світу показують, що великі штокверкові золото-сульфідно-кварцові з телуриди і вісмутмісткими рудами родовища – Васильківське і Секісовське сформувалися в період високої тектонічної активності земної кори, у межах регіональних геологічних структур колізійного типу, у процесі ритмічно-пульсаційного зрушення і підвороту літосферних плит і блоків. Положення рудних штокверків контролюються системами коро-магнійних глибинних розломів, надвиговими структурами і гіпабісальними інтрузіями габро-діорит-гранодіорит-плагіогранітової серії. Рудоутворення пов'язано з інтенсивними процесами тектонічного дроблення і гідротермально-метасоматичного перетворення порід, що вміщують, які проявляються у мікроклінізації, альбітизації, пропілізації, березитизації та окварцюванні, а також привнесенні рудних мінералів. Рудні тіла характеризуються Au-Ag-Bi-Te спеціалізацією. Золото двох типів: вільне і зв'язане із сульфідами, вертикальний діапазон розподілу зрушення значний (більш 500–800 м). Зв'язане золото родовища Васильківське локалізується в арсенопіритах, на Секісовському родовищі золоторудна мінералізація пов'язана з піритом декількох генерацій.

Наукова новизна. Виявлено значне поширення складних з'єднань золота і срібла з теллуридом у рудах Секісовського родовища, а в рудах Васильківського родовища – з теллуридом і вісмутом.

Комплексність руд передбачає постановку завдання різнобічного обліку основних і супутніх компонентів при проведенні всіх стадій робіт, починаючи з геолого-оціночних до експлуатаційної розвідки. Сучасні технології збагачення, новітні способи розробки дозволяють сьогодні віднести ці родовища до об'єктів першочергового промислового освоєння. Їхнє вивчення має наукове значення в питаннях ендегенного рудоутворення і створює передумови виявлення нових перспективних площ і родовищ, як у Казахстані, так і в інших регіонах світу.

Практична значимість. Рудні тіла досліджуваних родовищ локалізуються в золотоносних штокверках і брекчіях (із вмістом золота від перших одиниць до десятків г/т), відзначається високий сировинний потенціал і перспективи значного приросту запасів. Руди характеризуються різноманітністю телуридів золота, срібла, високий вміст у них мінералів вісмуту і прояви рідкометальних спеціалізацій (Sn, Nb, Ta) підвищує рентабельність освоєння родовищ даного типу. Тектонічні, магматичні й мінералого-геохімічні чинники контролю освоєння штокверкових рудних тіл і золотоносних вулканічних брекчій дозволяють прогнозувати розвиток зон мінералізованих брекчій на флангах і глибини досліджуваних родовищ. Значні концентрації золота, а також різноманітність супутніх елементів підвищують рентабельність освоєння родовищ даного типу.

Ключові слова: родовище золота, інтрузія, штокверк, телуриди, вісмут, Казахстан.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:553:657.47

О. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб., проф.

E-mail: shevch62@gmail.com,

О. Кошляков, д-р геол. наук, проф., зав. кафедри

E-mail: kosh57@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗНИХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОДОВИЩ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЗА ЕМПІРИЧНИМИ ЗАЛЕЖНОСТЯМИ

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

Мета роботи – установити внутрішні зв'язки між техніко-економічними показниками експлуатації родовищ підземних вод, проаналізувати сучасні фактичні дані, знайти способи визначення та уніфікувати розрахунки ціни одиниці готової продукції, податку за користування надрами, коефіцієнта рентабельності для випадків, коли більшість необхідних вихідних параметрів невизначені; обговорити метод визначення податку за користування надрами, регламентований Податковим кодексом, оскільки сутність податку не відповідає його назві.

Результати. Розроблено два підходи до розрахунку податку за користування надрами: 1) шляхом визначення ціни одиниці товарної продукції через коефіцієнт рентабельності, потім – валового доходу і далі розрахунок податку з використанням коефіцієнтів, установлених ПКУ; 2) через емпіричні залежності між шуканим значенням податку та значенням валових витрат (залежності встановлено при обробці фактичних даних по багатьох підприємствах-надрокористувачах України). Коефіцієнт рентабельності рекомендується визначати як відношення середньобазисного (за 25 років) оподаткованого прибутку підприємства до середньобазисних валових витрат. Установлено характерні співвідношення оборотних, основних і виробничих фондів, а також наведено реальні сучасні значення рентабельності для різних груп підприємств. Аналіз показників прибутковості підприємств свідчить, що в 72 % випадків чистий прибуток менший за суму податків, що надходять до держави. Для підприємств, що видобувають мінеральні води і використовують їх для розливу в пляшки, частка участі оборотних фондів у виробничих лежить у межах 63...76 %, а відношення їх до основних фондів становить від 1,7 до 3,3. Установлено, що рентна плата за користування надрами становить близько 4,1 % від валових витрат з урахуванням коефіцієнта 0,7: $\Pi_{\text{КН}} = E_{\text{вал}} \cdot 0,041$. Якщо коефіцієнт при $E_{\text{вал}}$ сягає 0,06 – це свідчить про неврахування коефіцієнта 0,7 під час розрахунку податку.

Практична значимість. Виявлені зв'язки між економічними показниками та закономірності розподілу показників для різних груп об'єктів-надрокористувачів дозволили спростити розрахунки важливих показників прибутковості та рентабельності. Знайдені алгоритми для розрахунку тих показників, які вираховуються з невідомих прогнозних характеристик економічної діяльності підприємства-надрокористувача, допоможуть розробникам техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО) оптимізувати розрахунки та звести до мінімуму невиправдані витрати надрокористувача. Крім того, знайдені емпіричні коефіцієнти допоможуть експертам виявляти помилки при перевірці ТЕО.

Ключові слова: техніко-економічні показники, родовища підземних вод, вартість, витрати, податки, рентабельність, оборотні фонди, собівартість.

Економічні показники експлуатації родовища підземних вод на сьогодні є вирішальними під час прийняття надрокористувачем рішень щодо обсягів оцінюваних експлуатаційних запасів або доцільності подальшого геологічного вивчення родовища загалом. Особливо це стосується розвідки та промислової розробки нових родовищ мінеральних підземних вод, для яких рентна ставка податку за спеціальне використання підземних вод, що розливаються у пляшки (тобто входять виключно до складу напоїв), найвища і становить на сьогодні 55,13 грн/м³ (для порівняння, ставка рентної плати за підземну воду, що використовується для водопостачання, коливається в різних областях України від 0,4878 до 0,9471 грн/м³), а реальна рентабельність відносно собівартості здебільшого не перевищує 7 %. Такі підприємства можуть із часом отримувати достатньо високий прибуток, проте вже на початку діяльності їм необхідно сплатити, відповідно до накопиченого за наступні 25 років віртуального чистого прибутку, вартість спецдозволу за користування надрами з метою промислової розробки. До того ж, техніко-економічні розрахунки необхідних для обґрунтування доцільності експлуатації родовища показників пов'язані з низкою невизначеностей, спрощень і наближень, в яких також закладені значні ризики невиправданих і незворотних фінансових втрат надрокористувача, що обумовлено суттєвими розбіжностями між розрахунковими і майбутніми реальними показниками. **Метою даної публікації** є роз'яснення існуючих залежностей та зв'язків між техніко-економічними показниками, а також надання спрощених алгоритмів для розрахунку тих показників, які вираховуються з невідомих прогнозних характеристик економічної діяль-

ності підприємства-надрокористувача. Це допоможе розробникам техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО) оптимізувати розрахунки та звести до мінімуму невиправдані фінансові витрати надрокористувача.

Згідно із Податковим кодексом України рентна плата за користування надрами визначається як 5 % від валової вартості готової продукції або доходу підприємства від реалізації товарної продукції [2], тобто об'ємів підземної води, що ідуть на продаж або використовуються самим підприємством. По суті, цей податок значною мірою дублює податок з прибутку, не залежить від витрат на геологічну розвідку, складності умов залягання, формування, розробки родовища і лише певною мірою враховує цінність або ринкову вартість корисної копалини. Саме за перерахованими критеріями необхідно було б диференціювати ставку цього податку, що на пряму впливає з його назви. Проте, крім цієї вади, при розрахунку даного податку запропоновано математично некоректні передумови для підприємств-початківців: його слід вираховувати з невідомого на початковому етапі значення валового доходу з реалізації майбутньої продукції. Навіть для вже працюючих підприємств, коли обсяги використання води на перспективу змінюються і встановлюється нова облікова ставка НБУ, очікуваний податок за користування надрами доведеться визначати, виходячи з невідомого прогнозного значення річної вартості продукції. У цих випадках для визначення податку за користування надрами можна скористатись одним із двох підходів: 1) установивши ціну одиниці товарної продукції та помноживши її на очікувані обсяги використання води, розрахувати валовий дохід; 2) знайти емпіричні залежності між шуканим значенням

податку та значенням валових витрат (можна за аналогією), задавши наближене значення податку при визначенні валових витрат, і далі, після визначення валового доходу методом послідовних наближень установити точні значення валових витрат і податку.

За першим підходом алгоритм розрахунку ціни одиниці продукції виводиться шляхом таких міркувань. Ми знаємо, що ціна (Ц) складається із суми собівартості (С) і оподаткованого прибутку (ОП):

$$Ц = С + ОП. \quad (1)$$

Оподаткований прибуток, у свою чергу, визначається як сума чистого прибутку (ЧП) і податку з прибутку (ПП), який становить на сьогодні 18 % від ОП, отже:

$$ОП = ЧП + 0,18 \cdot ОП. \quad (2)$$

Звідси чистий прибуток дорівнює:

$$ЧП = 0,82 \cdot ОП. \quad (3)$$

За відсутності фактичного досвіду роботи підприємства, чистий прибуток має забезпечити рентабельність від собівартості не меншу за облікову ставку Національного банку України на момент розрахунків:

$$ЧП = N \cdot С, \quad (4)$$

де N – облікова ставка НБУ в частках одиниці. Нагадаємо, що облікова ставка НБУ (ставка рефінансування) являє собою річний відсоток, що підлягає сплаті Національному банку України за кредити, надані організаціям, для регулювання ліквідності банківської системи. Таким чином, облікова ставка є показником *мінімальної на сьогодні межі рентабельності*, що забезпечує раціональне вкладання коштів і розвиток виробництва [3].

Отже, якщо перейти до визначення оподаткованого прибутку через ЧП із формули (3), а ЧП, у свою чергу, виразити через собівартість, то від двох невідомих із правого боку рівняння (1) залишиться лише один невідомий параметр – собівартість:

$$Ц = С + \frac{N \cdot С}{0,82} \quad (5)$$

Починаючи з 14.04.17, облікова ставка НБУ становить 13 %, отже, чистий прибуток дорівнюватиме не менше 13 % від собівартості, тобто

$$Ц = С + \frac{0,13 \cdot С}{0,82} = С + 0,159 \cdot С = 1,159 \cdot С. \quad (6)$$

Отриманий коефіцієнт 0,159 відповідає одному з найважливіших економічних показників – *мінімально допустимому за поточної ставки НБУ коефіцієнту рентабельності*

(K_p) у тому випадку, якщо його рахувати згідно з рекомендаціями Податкового кодексу України (ст. 252.16), тобто як відношення середньобаторічного (за 25 років) валового (оподаткованого) прибутку підприємства до середньобаторічних валових витрат (річної собівартості продукції – E_t):

$$K_p = \frac{ОП_t}{E_t}. \quad (7)$$

За формулою (7) отримуємо дещо більше значення K_p , ніж під час розрахунків за формулою (8), – як відношення суми чистого прибутку та амортизаційних відрахувань (A_t) за визначений термін експлуатації родовища до суми валових річних витрат за цей термін:

$$K_p = \frac{ЧП_t + A_t}{E_t} \quad (8)$$

Для прикладу можна навести розрахунки K_p , виконані обома способами для Бірзульського родовища мінеральних природних столових підземних вод (м. Подільськ Одеської області):

$$K_p = \frac{ОП_t}{E_t} = 1711,117 / 10013,338 = 0,171,$$

$$K_p = \frac{ЧП_t + A_t}{E_t} = 0,162.$$

Із рівняння (5) випливає, що для всіх випадків мінімально допустимий коефіцієнт рентабельності пов'язаний з обліковою ставкою НБУ (N) і встановленим податком на прибуток у частках одиниці (ПП) таким чином:

$$K_p = \frac{N}{1 - ПП}. \quad (9)$$

Відповідно, мінімальна рентабельна ціна продукції пов'язана з її собівартістю рівнянням

$$Ц = (1 + K_p) \cdot С, \quad (10)$$

що можна використати при встановленні допустимої собівартості продукції, виходячи з її ціни, придатної для ринку збуту, або навпаки.

Запропонований алгоритм (формули 1–6, 10) можна використовувати і для розрахунку ціни за інших облікових ставок НБУ. Наприклад, за ставки 18 % (діяла в 2016 р.), підставивши в рівняння (6) 0,18 замість 0,13, отримаємо

$$Ц = С + 0,22 С = 1,22 С.$$

Окремі, найбільш імовірні на наш час значення коефіцієнта рентабельності для правої частини рівняння (10) наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Розрахункові значення коефіцієнта рентабельності (K_p), що пов'язує ціну та собівартість продукції за різних значень облікової ставки НБУ (рентабельності)

Показник	Облікова ставка НБУ, %								
	8	9	10	11	12	12,5	13	14	15
K_p	0,0976	0,1098	0,122	0,134	0,146	0,1524	0,1585	0,171	0,183

Знаючи об'єми підготовленої до використання води або обсяги бутильованої продукції (W), легко визначити річну вартість продукції (B): $B = Ц \cdot W$, а з неї й значення рентної плати за користування надрами ($П_{KH}$):

$$П_{KH} = B \cdot 0,05 \cdot 0,7, \quad (11)$$

де 0,7 – коефіцієнт для підприємств, що проводять розвідку родовища за власні кошти (ст. 252.22 ПКУ).

При розробці техніко-економічної доповіді (ТЕД) або ТЕО для нових підприємств, що тільки розпочинають ви-

добуток підземних вод, у рівняннях (4–6) задається мінімально допустиме значення рентабельності, що дорівнює обліковій ставці НБУ. Проте реальна рентабельність діючого підприємства може бути більша або менша облікової ставки НБУ на даний час. Так, малі підприємства з розливу мінеральної води в пляшки (експлуатаційні запаси до 100 м³/добу) зазвичай мають рентабельність до 7 % від собівартості, що обумовлено ринковими оптовими цінами на даний вид продукції та забезпеченням її конкурентоспроможності на внутрішньому ринку. Великі підприємства, що використовують

експлуатаційні запаси мінеральних вод більше 300 м³/добу, мають більшу рентабельність (10–25 %) за рахунок відносно менших витрат на заробітну плату, амортизацію обладнання тощо, що зменшує собівартість одиниці продукції. Ще більшу рентабельність можуть мати підприємства, що використовують підземну воду питної якості (не вкладаючи суттєві кошти в її доочищення) для виготовлення питних напоїв, особливо слабоалкогольних (15–40 %), а також підприємства харчової, фармацевтичної та деяких інших галузей. Для них рентабельність з використання води може порівнюватись до рентабельності випуску основних видів продукції (10–60 %). Деякі більшу за поточну *N* рентабельність можуть мати міські підприємства централізованого водопостачання (Водоканали), що пояснюється різницею тарифів для різних водокористувачів і врахуванням у ціні за воду ПДВ. У випадку, коли підприємство працює з меншою ніж *N* рентабельністю (невеликі за обсягами розливу мінеральної води заводи), штучно завищена (до значення *N*) при розробці ТЕО рентабельність змушує завищувати валовий дохід та оподаткований прибуток. Отже, підприємство втрачає кошти не

лише за рахунок неадекватно завищеного податку за користування надрами, а й за рахунок податку з прибутку. Крім того, доводиться платити надмірну ціну за спецдозвіл на користування надрами з метою промислової розробки. Дохід держави за таких умов суттєво перевищує чистий прибуток підприємства (рис. 1), що стримує його розвиток. Така примусовість веде до "заморожування" роботи малих підприємств, значного збільшення ризику їхнього банкрутства, що дозволяє великим підприємствам ("Оболонь", "Миргородська", "Моршинська") ще більше монополізувати внутрішній ринок. Так, за період, коли ставка НБУ змінювалась у межах від 19,5 (з 06.02.15) до 30 % (до 28.08.15) і далі знову до 19 % (рис. 2), у ДКЗ України було подано лише два звіти щодо захисту запасів підприємствами, які займаються розливом питної води в бутлі; щодо розливу мінеральної води – жодного. Тому, на наш погляд, для нових невеликих підприємств більш ефективним буде порівняння з обліковою ставкою НБУ не рівня рентабельності відносно собівартості, а внутрішньої норми прибутковості.

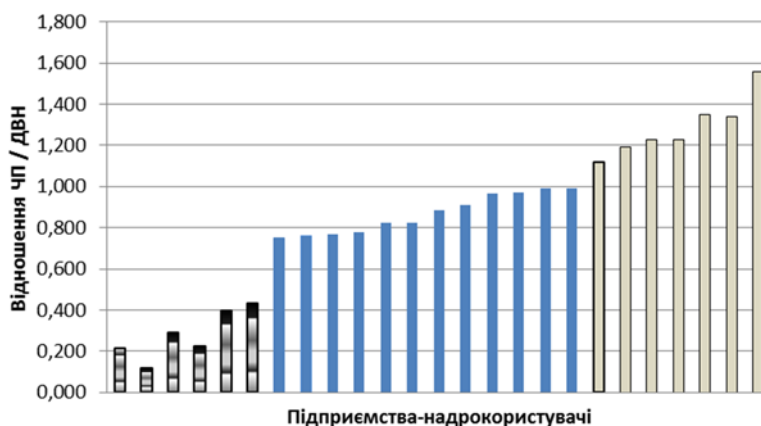


Рис. 1. Співвідношення чистого прибутку (ЧП) та доходу власника надр (ДВН) або суми податків для підприємств, що видобувають і використовують підземні води (по 25 підприємствах за 2012–2016 рр.)

На діаграмі показано, що для 18 підприємств, або 72 % з вибірки, відношення ЧП/ДВН < 1, тобто різниця ЧП – дохід власника надр (ДВН) від'ємна. Причому для чотирьох із шести підприємств, що мають відношення ЧП/ДВН менше 0,45, наведено дані 2012–2013 рр. (коли *N* була мінімальною); по двох випадках, що залишились – дані 2016 р., проте в одному з них чистий прибуток очевидно приховано, в іншому – собівартість (1,85 грн/м³), а

відповідно, вартість продукції та прибуток з неї найнижчі у вибірці і характерні для 2009–2011 рр. Інші дані (19 випадків) характеризують ситуацію на 2014–2016 рр.: за досить широкого діапазону ЧП – у межах 56,0...7611,4 тис. грн, співвідношення ЧП/ДВН у більшості випадків відображає штучне завищення ЧП, чого вимагала висока облікова ставка НБУ (рис. 2).

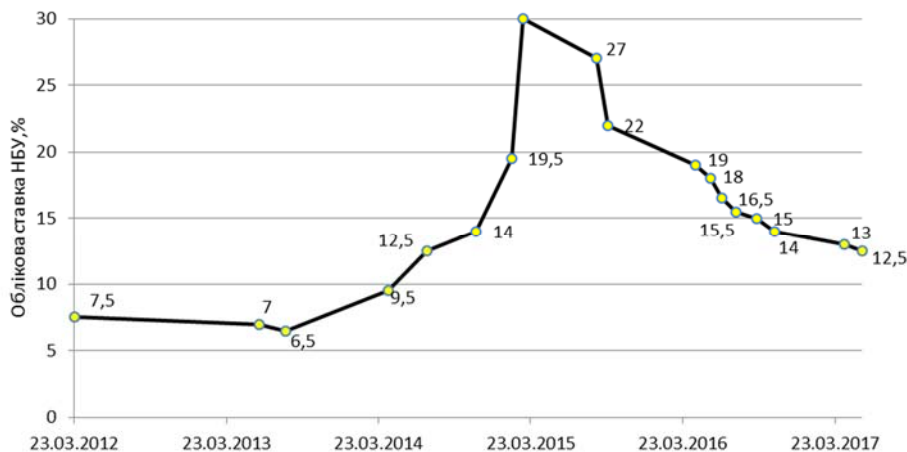


Рис. 2. Зміни облікової ставки НБУ (%) за період з 23.03.12 по 01.06.17

Використання *другого підходу* для визначення $\Pi_{\text{КН}}$ за невідомої собівартості продукції (оскільки $\Pi_{\text{КН}}$ також до неї входить) передбачає, що дослідник має достатній досвід складання ТЕО по інших подібних об'єктах або знайомий з фондovими матеріалами та виробничою економічною інформацією. Завдяки цьому можна встановити певні внутрішні зв'язки між величиною податку за користування надрами та валовим доходом або витратами. Так, податок (рентна плата) за користування надрами становить близько 4,1 % від валових витрат (при застосуванні сучасних вимог щодо його розрахунку з урахуванням коефіцієнта 0,7 для підприємств, що проводять розвідку родовища за власні кошти):

$$\Pi_{\text{КН}} = E_{\text{вал}} \cdot 0,041. \quad (12)$$

Значення $E_{\text{вал}}$ на першому етапі береться наближене, виходячи із суми інших умовно постійних і змінних витрат. Отримане значення $\Pi_{\text{КН}}$ може виявитись недостатньо точним. Тоді, знаючи валову собівартість, можна так само, як ціну одиниці продукції (рівняння (5, 6, 10)) визначити валовий дохід, а потім за рівнянням (11) порахувати більш точне значення податку. Після підстановки уточненого значення $\Pi_{\text{КН}}$ валові витрати незначною мірою зміняться, що потягне за собою зміну валового доходу. Використовуючи програмний продукт Excel, можна методом

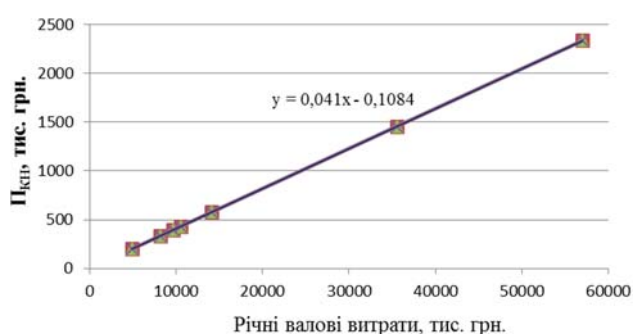
послідовних наближень досить швидко врегулювати ці взаємопов'язані параметри, зменшивши або збільшивши, скажімо, загальноцехові або "інші" витрати.

Для різних родовищ залежно від величини умовно-постійних витрат і наявності загальнозаводських або загальноцехових витрат залежність між $\Pi_{\text{КН}}$ і валовими витратами може несуттєво відрізнятися (рис. 3). Наприклад, для Садківського родовища мінеральних лікувально-столових вод, за різних значень використання експлуатаційних запасів, прямолінійна залежність $\Pi_{\text{КН}}$ від $E_{\text{вал}}$ має вигляд

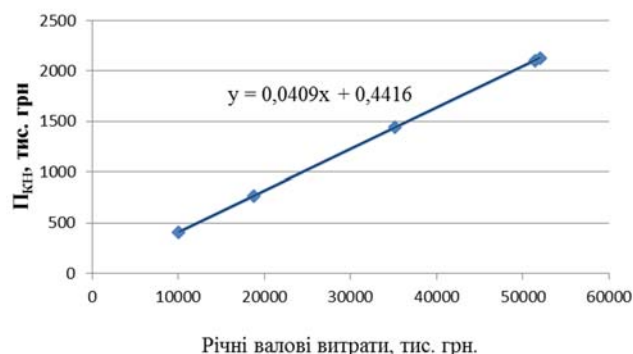
$$\Pi_{\text{КН}} = E_{\text{вал}} \cdot 0,041 - 0,108. \quad (13)$$

Для вибірки по десяти підприємствах України (дані 2015–2016 рр.), що використовують підземні води різного типу та з різною метою (водопостачання, виготовлення харчової та промислової продукції, розлив мінеральних вод), з валовими витратами від 310,37 тис. грн за рік (Новокаховський завод плавлених сирів) до 34172,2 тис. грн (ПрАТ "Царичанський з-д мінводи"), коефіцієнт для рівняння (12) коливався в межах від 0,041 до 0,0436, а всі значення лягають на пряму лінію, що описується рівнянням:

$$\Pi_{\text{КН}} = E_{\text{вал}} \cdot 0,041 + 0,496. \quad (14)$$



а



б

Рис. 3. Залежність податку за користування надрами від річних валових витрат на прикладі:

а – Садківського родовища мінеральних вод, м. Могилів-Подільський;

б – Бірзульського родовища мінеральних вод, м. Подільськ

Проте для всіх випадків (за даних вимог до розрахунку $\Pi_{\text{КН}}$) можна застосовувати спрощене рівняння (10). Очевидно, що використання рівнянь (10) та (11–12) цілком задовольняє точність прогнозних розрахунків (табл. 2).

Таблиця 2. Значення податку за користування надрами, розраховані різними способами (для Садківського родовища мінеральних вод)

Спосіб розрахунку	Значення податку для відповідних об'ємів використання* мінеральної води на розлив, тис. м³/рік						
	25,2	15,12	5,04*	5,04*	4,536	3,78	3,097
За формулою (9) (найбільш точне)	2334,36	1457,099	579,264	431,21	397,68	333,897	200,895
За формулою (10)	2337,499	1457,553	579,838	431,734	398,165	334,305	201,831
За формулою (11)	2337,39	1457,445	579,73	431,63	398,06	334,197	201,723

*Значення податку за однакових об'ємів водовикористання свідчить, що $\Pi_{\text{КН}}$ значно більшою мірою підпорядковується річним валовим витратам.

Якщо при перевірці даних коефіцієнт при $E_{\text{вал}}$ досягає 0,042–0,046, це може свідчити про рентабельність вищу за 18 % або про деяке заниження собівартості продукції, що вимагає ретельної перевірки витрат на матеріали, електроенергію тощо. Якщо коефіцієнт при $E_{\text{вал}}$

суттєво виходить за межі діапазону 0,041–0,043 і досягає значення 0,06, це свідчить про неврахування коефіцієнта 0,7 під час розрахунку податку.

До складу експлуатаційних (поточних) витрат, що належать до валових витрат, входять, крім ресурсних платежів, податок за землю та екологічний; оплата праці основного персоналу, що займається експлуатацією водо-

забору, підтримкою в належному технічному стані свердловин, мережі трубопроводів та електрообладнання, двигунів, pomp й інших активних виробничих фондів, підготовкою води до стану готової продукції; нарахування на заробітну плату; вартість сировини, електроенергії, будівельних матеріалів для виконання ремонтних робіт, матеріалів, що витрачаються на водопідготовку та входять до складу готової продукції; знос малоцінного інвентарю, у тому числі вартість спеціального одягу персоналу, плата за виконання аналізів води хімічною лабораторією, режимні спостереження та ін. Експлуатаційні витрати входять до складу *загальнозаводських* [4, 5]. Останні, крім цього, містять амортизаційні відрахування з основних фондів і капіталовкладень, оплату праці персоналу управління (адміністративні витрати, що стосуються водозабору), оплату допоміжних служб витрати на збут готової продукції. Крім того, до валових витрат, що

визначають собівартість продукції, входять загальноцехові та/або загальнозаводські витрати [1]. Предмети праці, що переносять свою вартість на продукцію за один виробничий цикл, тобто протягом року, створюють оборотні фонди [5]. Це електроенергія, матеріали, витрати на ремонт основних фондів. Отже, останні доцільно і досить легко визначити із суми окремих складових змінних витрат, а не як 25 чи 30 % від основних фондів. Ця помилка ще зустрічається в окремих звітах, що надходять до ДКЗ України на експертизу. Як бачимо (рис. 4), достатньо стійкої залежності між оборотними фондами та основними чи виробничими фондами не простежується. Співвідношення оборотних фондів і залишкової балансової вартості основних фондів на давно діючих підприємствах відображає загальний стан зношеності технологічного обладнання та відсутності його модернізації не лише в галузі водопостачання.

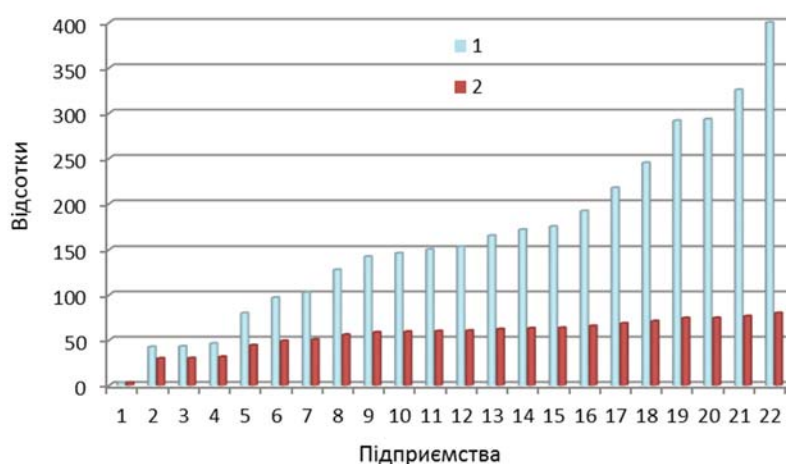


Рис. 4. Частка оборотних фондів у відсотках від основних (1) і виробничих (2) фондів на 22 підприємствах України з видобутку і використання підземних вод

Лише на трьох підприємствах співвідношення оборотних фондів до основних виявилось у межах від 42,5 до 46,4 %, за участі оборотних фондів у виробничих – у межах 30–32 %. При цьому води використовуються як питні й технологічні (для виготовлення іншої продукції). Найменший відсоток оборотних фондів у виробничих – 3,0 % заявлено на ДП УГК Nemiroff (м. Немирів Вінницької області). Для підприємств, що видобувають мінеральні води і використовують їх для розливу в пляшки (6 випадків із 22) частка участі оборотних фондів у виробничих лежить у межах 63,0...76,5 %, а відношення їх до основних фондів становить від 1,7 до 3,3.

Інше питання, чи зараховувати до оборотних фондів уже згадуваний податок за користування надрами. Це пов'язано з тим, що до оборотних фондів належить також вартість сировини, а отже, і вартість підземної води на виході із свердловини. До 27.03.14 ставка збору за користування надрами коливалась від 0,0895 грн/м³ за прісні підземні води до 39,3 грн/м³ за мінеральні води для промислового розливу, що певним чином відображало цінність підземних вод як корисної копалини, а отже, цей податок можна було *зараховувати до оборотних фондів як вартісну оцінку первинної сировини* [4]. Значення податку для підприємства напругу залежало від обсягів видобутої води і меншою мірою – від собівартості її видобутку. Ознак товару вода набуває лише після очищення, стерилізації, сатурації, розливу у пляшки тощо. Як було показано вище, у наш час П_{кн} характеризує не

вартість сировини, а частку від валового доходу з реалізації готової продукції, яка може за якісним складом досить суттєво відрізнитись від первинного стану підземної води, тобто набуває стану товарної продукції, а не корисної копалини. Тобто наразі цей податок до оборотних фондів зараховувати не варто.

Висновки. Виявлені під час аналізу техніко-економічних обґрунтувань зв'язки між економічними показниками та закономірності розподілу показників у вибірках об'єктів-надрокористувачів дозволяють не лише спростити розрахунки, а й виявляти помилки при перевірці ТЕО. Знайдено залежність для визначення ціни одиниці продукції та коефіцієнта рентабельності, представлено способи розрахунку податку за користування надрами та реальні співвідношення між оборотними та основними фондами підприємств-надрокористувачів. З огляду даних, що надходять до ДКЗ України, очевидно, що податковий тягар на підприємства-надрокористувачі залишається завищеним: щонайменше для 72 % підприємств чистий прибуток менший, ніж сума податків (дохід держави). Крім того, податок за користування надрами дублює податок з прибутку і напругу не долучається до геологорозвідувальної галузі. Це стримує розвиток підприємств нецентралізованого водопостачання якісною питною водою та малих підприємств з видобутку і розливу мінеральних вод.

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки щодо порядку техніко-економічного обґрунтування балансової належності експлуатаційних запасів родовищ питних і технічних підземних вод. – К. : ДКЗ України, 2010. – 20 с.

2. Податковий кодекс України, ст. 263.9.1. (із змінами, внесеними Законом України від 27.03.14 № 1166-VII "Про запобігання фінансової катастрофи та створення передумов для економічного зростання в Україні").
3. Рудько Г. І. Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин / Г. І. Рудько, М. М. Курило, С. В. Радованов. – К.: АДЕФ-Україна, 2011. – 384 с.
4. Wellmer F-W. Economic evaluation in exploration. – Berlin; Heidelberg : Springer-Verlag, 1989. – 163 p.
5. Wellmer F-W. Statistical evaluations in exploration for mineral deposits. – Berlin; Heidelberg : Springer-Verlag, 1998. – 379 p.

References

1. Guidance on the procedure of the feasibility study of balance belonging of operational stocks of technical and drinking groundwater. (2010). K. : State Commission on Mineral Resources Ukraine, 20 p. [in Ukrainian].

O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Senior researcher, Prof.
E-mail: shevch62@gmail.com,
O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Head of the Department
E-mail: kosh57@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kiev, 03022, Ukraine

2. Tax Code of Ukraine, art. 263.9.1. (As amended by the Law of Ukraine of 27.03.2014 p. №1166-VII "On prevention of financial catastrophe and creating preconditions for economic growth in Ukraine"). (2014). zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17. [in Ukrainian].
3. Rud'ko, G. I., Kurilo, M. M., Radovanov, S. V. (2011). Geological and economic evaluation of mineral deposits. K. : ADEF-Ukraine, 384 p. [in Ukrainian].
4. Wellmer, F-W. (1989). Economic evaluation in exploration. Berlin; Heidelberg : Springer-Verlag, 163 p.
5. Wellmer, F-W. (1998). Statistical evaluations in exploration for mineral deposits. Berlin; Heidelberg : Springer-Verlag, 379 p.

Надійшла до редколегії 20.06.17

DETERMINATION OF FORECASTING TECHNICAL AND ECONOMIC INDICES EXPLOITATION UNDERGROUND WATER FOR EMPIRICAL RELATIONSHIPS

The aim of the work is to establish internal links between the technical and economic indicators of the operation of groundwater deposits, to analyze current actual data, to find ways to determine and unify the calculations of the unit price of finished goods, the subsoil use tax, the profitability factor for cases when the majority of the necessary initial parameters are not determined; to discuss the method of determining the tax for the use of subsoil, since the essence of the tax does not correspond to its name.

Results. Two approaches to the calculation of the tax for the use of subsoil have been developed: 1) by determining the price of a unit of commodity output through the profitability coefficient, then – the gross income, and then by calculating the tax using the coefficients established by the NKU; 2) through empirical relationships between the target value of the tax and the value of gross costs (the dependencies are established when processing the actual data for a number of enterprises-subsoil users of Ukraine). The coefficient of profitability is recommended to be defined as the ratio of the long-term (over 25 years) taxable profit of the enterprise to the average annual gross costs. The characteristic ratios of working capital, fixed assets and production funds are established, and real values of profitability for various groups of enterprises are given. An analysis of the profitability of enterprises shows that in 72 % of cases the net profit is less than the amount of taxes that go to the state. For enterprises that extract mineral waters and use them for bottling, the share of circulating assets in production lies in the range of 63 ... 76 %, and their ratio to fixed assets ranges from 1,7 to 3,3. It is established that the rental payment for the use of subsoil amounts to about 4,1% of gross expenditure, taking into account the coefficient of 0,7: $\Pi_{KH} = E_{вал} \cdot 0,041$. If the coefficient at $E_{вал}$ reaches 0,06 this indicates that the coefficient 0,7 is not taken into account when calculating the tax.

Practical significance. The revealed links between economic indicators and the patterns of distribution of indicators for various groups of subsoil users have made it possible to simplify the calculation of important indicators of profitability. Found algorithms for calculating those indicators that are calculated by unknown forecast characteristics of the economic activity of the subsoil user will help the developers of feasibility studies optimize the calculations and minimize unjustified losses of the subsoil user. In addition, found empirical coefficients will help experts to detect errors when testing the feasibility study.

Keywords: technical and economic indicators, groundwater deposits, costs, expenses, taxes, profitability, working capital, cost.

A. Шевченко, д-р геол. наук, ст. науч. сотруд., проф.
E-mail: shevch62@gmail.com,
О. Кошляков, д-р. геол. наук, проф., зав. кафедрой
E-mail: kosh57@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ЗАВИСИМОСТЯМ

Цель работы – установить внутренние связи между технико-экономическими показателями эксплуатации месторождений подземных вод, проанализировать современные фактические данные, найти способы определения и унифицировать расчеты цены единицы готовой продукции, налога за пользование недрами, коэффициента рентабельности для случаев, когда большинство необходимых исходных параметров не определены; обсудить метод определения налога за пользование недрами, поскольку сущность налога не соответствует его названию.

Результаты. Разработаны два подхода к расчету налога за пользование недрами: 1) путем определения цены единицы товарной продукции через коэффициент рентабельности, затем валового дохода, и далее расчет налога с использованием коэффициентов, установленных НКУ; 2) через эмпирические зависимости между искомым значением налога и значением валовых затрат (зависимости установлены при обработке фактических данных по ряду предприятий-недропользователей Украины). Коэффициент рентабельности рекомендуется определять как отношение среднесрочной (за 25 лет) налогооблагаемой прибыли предприятия к среднесрочным валовым затратам. Установлены характерные соотношения оборотных, основных и производственных фондов, а также приведены реальные современные значения рентабельности для различных групп предприятий. Анализ показателей прибыльности предприятий показывает, что в 72 % случаев чистая прибыль меньше суммы налогов, которые идут государству. Для предприятий, которые добывают минеральные воды и используют их для разлива, доля участия оборотных фондов в производственных лежит в пределах 63...76 %, а отношение их к основным фондам составляет от 1,7 до 3,3. Установлено, что рентная плата за пользование недрами составляет около 4,1 % от валовых расходов, с учетом коэффициента 0,7: $\Pi_{KH} = E_{вал} \cdot 0,041$. Если коэффициент при $E_{вал}$ достигает 0,06, это свидетельствует о неучете коэффициента 0,7 при расчете налога.

Практическая значимость. Выявленные связи между экономическими показателями и закономерности распределения показателей для различных групп объектов-недропользователей позволили упростить расчеты важных показателей прибыльности и рентабельности. Найденные алгоритмы для расчета тех показателей, которые рассчитываются по неизвестным прогнозным характеристикам экономической деятельности предприятия-недропользователя, и помогут разработчикам технико-экономических обоснований (ТЭО) оптимизировать расчеты и свести к минимуму необоснованные потери недропользователя. Кроме того, найденные эмпирические коэффициенты помогут экспертам обнаруживать ошибки при проверке ТЭО.

Ключевые слова: технико-экономические показатели, месторождения подземных вод, стоимость, расходы, налоги, рентабельность, оборотные фонды, себестоимость.

ІСТОРІЯ НАУКИ

УДК 929: 94

О. Іванік, д-р геол. наук, проф.

E-mail: om.ivanik@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна**НАУКОВА СПАДЩИНА ПРОФЕСОРА С.А.МОРОЗА
ТА ВТІЛЕННЯ ЙОГО СВІТОГЛЯДНИЦЬКИХ ІДЕЙ У СУЧАСНУ ГЕОЛОГІЧНУ НАУКУ**

Охарактеризовано наукову, організаційну та громадську діяльність видатного українського науковця, завідувача кафедри загальної та історичної геології геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, відомого геолога, стратиграфа, палеонтолога, кавалера ордена "За заслуги" III ступеня, доктора геолого-мінералогічних наук, професора С. А. Мороза. Висвітлюється його внесок у розвиток української та світової геологічної науки, філософського аналізу та світоглядного знання. Аналізуються напрями сучасних геологічних досліджень, пов'язаних з науковою спадщиною відомого вченого.



Швидкоплинно летять роки, зникають і з'являються держави, стрімко, гучно й з відлунням щезають одні та приходять інші керманічі суспільства, докорінно змінюються дороговкази, то – бурхливий, непереборний, чудовий вирій життя.

Завжди в його центрі, серед самої гушавини була жага людини до Знання, до Науки. 21 лютого 2017 р. геологічна громадськість відзначила 80-річний ювілей відомого геолога, стратиграфа, палеонтолога, доктора геолого-мінералогічних наук, кавалера ордена "За заслуги" III ступеня, професора Сергія Амвросійовича Мороза. Він був саме тією людиною, яка все своє життя прагнула до знань, до Науки і до розкриття геологічних таємниць. Біографічні нотатки творчого шляху С. А. Мороза говорять про унікальність і велику неординарність цієї людини.

Сергій Амвросійович народився 21 лютого 1937 р. в м. Києві. У 1960 р. закінчив з відзнакою геологічний факультет Київського університету ім. Т. Г. Шевченка. Першу наукову доповідь зробив на засіданні геологічного гуртка, будучи студентом 1-го курсу, а перша його публікація "Об образовании опала в бурых углях Закарпатской угленосной толщи" оприлюднена на початку 60-х рр. минулого сторіччя.

Після короткочасної роботи в Інституті геологічних наук НАНУ, у 1962 р. С. А. Мороз повертається до роботи в університеті, де працює старшим геологом експедиції науково-дослідного сектора, що здійснювала геологічну зйомку лівобережжя України. У жовтні 1963 р. він був зарахований на стаціонар аспірантури кафедри історичної геології, яку достроково закінчив у 1966 р. і захистив кандидатську дисертацію на тему "Сумська світа палеоцену Дніпрово-Донецької западини", яку головний опонент професор. О. Каптаренко-Чорноусова визначила як дослідження докторського рівня.

Згодом працював у Київському університеті начальником Науково-дослідної частини і старшим науковим співробітником геологічного факультету (1965–1971). У 1971 р. С. А. Мороз захистив докторську дисертацію "Палеоцен Дніпрово-Донецької западини", ставши одним з наймолодших докторів геолого-мінералогічних наук України. З 1976 по 1983 р. він працював на географо-геологічному факультеті Одеського державного університету ім. І. І. Мечникова, де протягом шести років очолював кафедру палеонтології та регіональної геології. Наслідки своїх геологічних розвідок цього часу він згодом оприлюднив у монографії "Геологічна будова Північного Чорномор'я" (1995), де встановив причину відсутності в нормальному стратиграфічному розрізі (Центрального Причорномор'я) вище понтичних відкладів осадків кіммерію (дакію) пліоцену, яка полягала в різкій неотектонічній активізації протягом післяпонтичного часу, коли на терені Центрального Причорномор'я почали формуватись вкладено-врізані товщі солонуватоводних відкладів, а на території Керченського півострова Криму – своєрідні мутьди, де формувались поклади осадових залізистих руд.

Понад десять років Сергій Амвросійович присвятив вивченню палеогенових і неогенових відкладів Донбасу, що було узагальнено в монографії "Кайнозойські моря Донбасу" (1975). Ним було опрацьовано цілком оригінальна стратиграфічна схема, в якій у складі вперше встановленого палеоцену виокремлена олістостромна "брило-брекчієва товща" (багато хто з геологів вважав її астроблемною за природою).

З 1983 по 1997 р. протягом 14 років працював на посаді професора, а згодом завідувача (із 1984 р.) кафедри загальної та історичної геології геологічного факультету Київського університету ім. Т. Г. Шевченка. Важко також переоцінити натхненні зусилля, докладені професором С. А. Морозом для розвитку і підняття престижу наук палеонтології й стратиграфії, формування авторитетної наукової школи дослідників кайнозою та геологічної науки загалом, якій він був безмежно відданий. Він був гідним продовжувачем традицій наукової школи палеонтології і стратиграфії, заснованої в 50-ті рр. академіком Б. С. Чернишовим і професорами М. М. Ключниковим і О. Л. Ротасем.

Підтвердженням високопрофесійних фундаментальних досліджень професора С. А. Мороза є опрацьовані ним, на рівні монографічних видань, проблеми геологічної будови континентів і Світового океану, стратиграфії і палеонтології, палеогеографії, геотектоніки, геології нафти і газу, географічного землезнавства, історії, методології та філософії наук про Землю, теорії біосфери й охорони довкілля, дидактики вищої школи. Саме він уперше в Україні фундував історико-методологічну галузь геології, із грифом Мінвузу СРСР опублікував перший в тогочасному Радянському Союзі навчальний посібник "Методологія геологічної науки" (1985). С. А. Морозом опрацьовано оригінальну методолого-філософську концепцію біосферної форми руху (організації) земної матерії. Сергія Амвросійовича вважають одним із фундаторів історико-методологічної гілки сучасного геологічного знання, а також гідним продовжувачем філософської спадщини В. І. Вернадського [6].

С. А. Морозом, за результатами багаторічних досліджень, було накопичено величезний фактичний матеріал зі стратиграфії палеогенових відкладів Східно-Європейської платформи і суміжних регіонів, який було уніфіковано та генералізовано. Високу оцінку світової наукової громадськості здобула розроблена ним оригінальна стратиграфічна схема палеогенової системи Східноєвропейської платформи, Кримсько-Кавказької області та дотичних регіонів. Це знайшло відображення в таких монографіях Сергія Амвросійовича, як "Методологія геологічної науки" (1985), "Методологічний аналіз стратиграфічних границь" (1988), "Просторово-часові аспекти стратиграфії" (1988), "Основи пізнавального процесу в сучасній геології" (1989) та ін.

Науково важливими для стратиграфічної науки є досягнення С. А. Мороза в пізнанні історико-геологічної природи Лузанівського страторегіону палеоцену Євразії, які зводяться до такого. Установлено, що так звана "райгородська товща" (потужність до 200 м), котру попередні дослідники вважали тектонічною брекчією або своєрідними континентальними утвореннями, є олістостромною товщею морського походження. Ця товща утворилася протягом надзвичайно малого проміжку часу (порядку однієї зони міжнародної хроностратиграфічної шкали) наприкінці маастрихтського віку пізньої крейди в межах дуже своєрідних, розломної природи, рифтоподібних вузьких гребенових западин. Останні утворилися внаслідок прояву, саме у цей період, ларамійської фази альпійського тектоорогенезу на території чималої Середньодніпровської кільцевої тектономагматичної структури, до якої належить терен Лузанівського страторегіону палеоцену та північною окраїною якої є Канівські дислокації.

Палеоценові відклади Лузанівського страторегіону вперше виокремлені в лузанівську серію (аналог сумської серії чи надгоризонту Дніпровсько-Донецької западини), що включає макартитську і ташлицьку світи з урахуванням результатів досліджень усіх наявних комплексів макро- і мікробіоти, абсолютних датувальних калій-аргоновим методом за глауконітом. Лузанівська серія, як було доведено, залягає здебільшого на невеличкій стратиграфічній перервці (відсутня лише нанопланктонна зона *Biantholithus sparsus* нижнього данію) на "райгородській товщі" пізнього маастрихту та трансгресивно перекривається безкарбонатними піщаними осадами нижнього еоцену (аналогі горизонту "а" Г. Радкевича в районі Канівських дислокацій, лебединського горизонту С. Мороза в межах Дніпровсько-Донецької западини і суміжних районів). Важливо, що в товщі лузанівської світи встановлені майже всі стандартні датувальні рівні за планктонними організмами (коколітофори, диноцисти, форамініфери), що зайвий раз підкреслює значущість Лузанівського страторегіону палеоцену Євразії [10].

Розв'язання геологічних "ребусів" було властивим науковій діяльності С. А. Мороза. Так, наприклад, він перший розшифрував формування Канівських дислокацій як прояв механізму утворення олістостромних товщ протягом своєрідного дейтероорогенезу, що розпочався ще наприкінці крейдового періоду у зв'язку із проявом ларамійської фази альпійського тектоорогенезу. Такий висновок ґрунтувався на результатах цілеспрямованих стратиграфічних досліджень.

Оригінальними та стратиграфічно і палеонтологічно обґрунтованими є ідеї професора С. А. Мороза щодо віку буримської світи. Він відносив зазначені утворення до глядівської світи палеоцену, стратотип якої було встановлено та описано співробітниками кафедри загальної та історичної геології в Глядовому ярі на околиці с. Хмільна Канівського району Черкаської області. До цієї світи у стратотипі віднесено товщу вапнистих і безкарбонатних пісків зеленуватих, при вивітрюванні білястих, різнозернистих, іноді гравелістих, розмаїто-шаруватих кварц-глауконітових і пісковиків, що за даними [3] належать до альбського (передусім "шар Виржиківського") та сеноманського ярусів крейди. За теорією Сергія Амвросійовича глядівська світа за своєю природою є своєрідною олістостромною товщею. В її палеогеновому піщаному "матриксі" в нижній частині розрізу скупчено зруйновані пласти сеноманських пісковиків і брили й уламки шампанської писальної крейди. Ці олістоліти утворилися під впливом тектонічних рухів ларамійської фази тектоорогенезу і глиняного діпіризму середньоруської товщі, що подекуди фіксуються в середній частині світи. Верхня частина розрізу останньої представлена одноманітними алевритовими пісками, у покрівлі яких часто-густо присутні лінзи (потужність 0,5–8,0 м) "глауконітової крейди" і вивопнені сліди біотурбації. На думку науковця, на більш молодий вік відкладів може вказувати комплекс решток макрофауни (зуби ламноїдних акул, спікули губок, молюски двостулкові та червоногі) і листяної флори та аналіз спорово-пилкових спектрів, у складі яких поряд з давніми формами, перевідкладеними з утворень мезозою, присутні більш молоді види, здебільшого характерні для палеоцену. Висновок про палеоценовий вік глядівської світи певним чином узгоджується з матеріалами щодо вивчення мікрофітофосилій – властивого нанопланктону та диноцист. За переконанням С. А. Мороза, глауконітова крейда не є інсінтним осадком. Вона утворилася внаслідок розмиву та перевідкладення писальної крейди під час розширення і стабілізації палеогенового морського басейну. Представлені дані свідчать про дискусійність визначення віку альб-сеноманських і палеогенових відкладів Канівського Придніпров'я, що неодноразово обговорювалось у численних публікаціях [6 та ін.], однак достовірність представлених Сергієм Амвросійовичем із співавторами результатів є обґрунтованою та доведеною на основі застосування комплексу методів [2, 8–10].

Значний пласт наукової творчості С. А. Мороза належить до розв'язання проблем стратиграфії палеогенових відкладів Європи, зокрема кореляції платформного ("бореального") і тетичного ("тропічного") палеоцену. До останнього

належать палеогенові товщі Кримсько-Кавказької палеобіогеографічної області, вивченням яких Сергій Амвросійович займався протягом тривалого часу. Ці дослідження дозволили істотним чином уточнити й удосконалити стратиграфію палеогену Криму і Кавказу. Зокрема, була доведена неправомірність виділення в Криму самостійних сімферопольського і новопавлівського регіорусів (горизонтів), товщі яких він включив до вперше виокремленого горизонту Приємного побачення (віковий діапазон: пізній іпр – ранній бартон). Також уперше був виділений танківський горизонт як найнижчий складник нижнього еоцену, а вік палеоценового качинського горизонту визначений як пізній монс-танет, якому відповідає горизонт Гарячого Ключа Північного Кавказу і гусмістинської світи Південного Кавказу (Абхазія). У кінцевому підсумку було нагромаджено величезний новітній фактологічний матеріал зі стратиграфії палеогенових відкладів Східноєвропейської платформи і суміжних регіонів, котрий потрібно було уніфікувати і генералізувати. У 1995–1996 рр. С. А. Мороз уперше здійснив уніфікацію і генералізацію наслідків стратиграфічних досліджень палеогенових відкладів величезної території Східноєвропейської платформи і дотичних регіонів, опрацювавши оригінальну стратиграфічну схему. В останній аргументовано скорельовані платформні ("бореальні") і тетичні ("тропічні") регіостратони, зокрема доведено відповідність горизонту Приємного побачення Криму його достовірним аналогом на Кавказі, бучацького горизонту Північної України й мечеткінського горизонту Поволжя, а також правомірність зіставлення кумського і альмінського горизонтів Криму та їхніх Кавказьких аналогів з київським надгоризонтом Північної України, з аксайським, балаклеїським горизонтами Поволжя.

Ці дослідження, а також результати дослідження палеогеографічних умов цього часу знайшли відображення в капітальному двокнижжі "Історія біосфери Землі" (1996).

За свої палеонтологічні дослідження, С. А. Мороз світовою громадськістю вважається провідним фахівцем у галузі палеонтологічного вивчення палеогенових молюсків і брахіопод, серед яких описано низку видів.

Сергій Амвросійович Мороз мав велику кількість учнів-послідовників, які розвивали та поглиблювали його ідеї в різних сферах геологічного знання. Його глибока чуйність поряд із суворістю (на перший погляд), але справедливою вимогливістю змушували постійно просуватися вперед у вирі наукового пошуку. Величезна працездатність цієї людини спонукала до безпеліційного наслідування, позбавленого пасивного споглядання та була запорукою наукових досягнень. Професор С. А. Мороз мав надзвичайно широке коло наукових інтересів, що безумовно знайшло відображення у сфері діяльності та працях його учнів. Розв'язання наукових проблем теоретичної та прикладної геології здійснювалося за напрямом стратиграфії, палеонтології, історичної геології, морських геологічних досліджень, філософських основ пізнання геологічного середовища, геоєкології тощо. Побачити професора своїм науковим керівником мріяли фахівці з різною освітою: географи, геологи, біологи, філософи, оскільки безмежна кількість його ідей стосувалася дуже різних галузей геологічного знання. Сергій Амвросійович був справжнім патріотом Науки та Вченим з великої літери, мав широкий науковий світогляд, що сприяло розв'язанню проблемних питань як власне геологічної науки, так і міждисциплінарного характеру. Його постійне прагнення до наукового пошуку та розв'язку геологічних ребусів були прекрасним прикладом для його учнів і спонукали до активної творчості.

Сергій Амвросійович підготував і випустив двох десятків докторів і кандидатів геолого-мінералогічних і геологічних наук, які працюють як в Україні, так й інших країнах світу (В'єтнамі, Росії та ін.) і гідно продовжують його геологічні, методолого-світоглядницькі та філософські вишукування.

Протягом останніх років свого життя С. А. Мороз займався проблемами морської геології, четвертинної геології та палеогеографії. Зокрема, він опрацював оригінальну модель морського кремененакопичення, яка оригінальним чином урахує фактори субмаринного розвантаження прісних вод, механізму дії гідрофронту і геохімічних бар'єрів. Результати його досліджень у цьому напрямі узагальнені в таких монографічних виданнях, як "Геологічний пошук у світовому океані" (1986), "Модель морського кремененакопичення" (1986), "Екологія внутрішніх морів за умов антропогенного стресу" (1989), "Геохімічний моніторинг Чорного моря" (1990), "Теоретичні та методологічні питання вивчення морських геоєкосистем" (1993) та інших публікаціях [5 та ін.]. На жаль, невдачею закінчилося ініціативне діяння С. А. Мороза стосовно створення на геологічному факультеті Київського університету спеціалізації "Морська геологія", однак його колеги та учні відновили в Університеті викладання навчальної дисципліни "Морська геологія" та видали перший в Україні підручник "Основи морської геології" (2004) та "Морська геологія" (2016) (автори – чл.-кор. НАН України, проф. О. Ю. Митропольський і проф. О. М. Іванік) [7].

Загалом своїм науковим розробкам і міркуванням С. А. Мороз присвятив понад 250 наукових праць, у тому числі близько 50 монографій [11].

Пам'ять про Сергія Амвросійовича Мороза живе. Його колеги та учні завжди пам'ятатимуть його усмішку та принциповість, геологічні ідеї та ентузіазм. Так, 21–23 лютого 2007 р. на геологічному факультеті Київського національного університету ім. Тараса Шевченка відбулася науково-практична конференція "Від геології до біосферології. Проблеми сьогодення, майбутні перспективи", присвячена пам'яті завідувача кафедри загальної та історичної геології, заслуженого діяча науки і техніки, професора С. А. Мороза з нагоди 70-річчя від дня народження. Конференція була організована спільними зусиллями Міністерства освіти і науки України (геологічний факультет Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та геолого-географічний факультет Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова) і Національної академії наук України (Інститут геологічних наук та Інститут філософії ім. Г. С. Сковороди НАН України). У роботі конференції взяли участь учені України, Російської федерації, Молдови та Білорусі, які презентували результати наукових досліджень. Активну участь у роботі конференції брали також аспіранти та студенти.

21 лютого 2017 р. з нагоди 80-річного ювілею Вченого було проведено розширений семінар кафедри загальної та історичної геології, на якому було представлено низку доповідей відомих Учених як Київського національного університету імені Тараса Шевченка, так і Національної академії наук України, присвячених науковій спадщині С. А. Мороза та втіленню його світоглядних ідей в геологічну науку.

На сьогодні на кафедрі загальної та історичної геології ННІ "Інститут геології" продовжуються дослідження, розпочаті С. А. Морозом. Співробітники, науковці та аспіранти кафедри беруть участь у виконанні таких науково-дослідних тем: "Біостратиграфія, палеоекологія і палеогеографія фауністично охарактеризованих відкладів України", "Моделювання зсувної небезпеки локального і регіонального рівня (на прикладі модельних полігонів Середнього Придніпров'я)", "Структурний аналіз і тектонічна еволюція різновікових комплексів України", "Еволюція, четвертинне розселення і видоутворення *Spermophilus* у Причорномор'ї". У рамках цих тем продовжуються дослідження Канівських дислокацій та розв'язуються проблеми їхнього утворення, розробляються й удосконалюються стратиграфічні схеми як континентальних, так і морських відкладів. Сучасний стан наукової стратиграфо-палеонтологічної школи відзначається переважанням досліджень біофаціального і палеоекологічного напрямку. Так, побудовано фаціальну модель вендських відк-

ладів за фауною Metazoa; на основі вивчення різних груп табулятоморфів побудовано фаціальну модель силурійського шельфу. Виконано літолого-палеогеографічні та палеобіономічні реконструкції основних етапів становлення та розвитку альб-сеноманського епіконтинентального морського басейну півдня та південного заходу України. На базі лабораторії мікропалеонтології та біостратиграфії виконуються роботи з аналізу біофаціальної характеристики донних відкладів шельфу Антарктичного півострова та Азово-Чорноморської западини (за діатомовими водоростями), проводяться дослідження складу та якості мінеральних вод України із визначенням мікропалеонтологічного складу. Розвиваються нові напрями наукових досліджень, зокрема моделювання геологічних процесів і структур, геолого-фізичне моделювання стану складних природно-техногенних систем (ПТС) з використанням методів геологічного та тектоно-фізичного аналізу; детерміноване моделювання тектонічних процесів; математичне моделювання природно-техногенних систем і розробка програмних комплексів за розрахунками напружено-деформованого стану ПТС; ГІС-аналіз факторів виникнення небезпечних геологічних процесів.

Життя, особливо сьогодні, саме втручається в засади нашого співіснування, але всі ми будемо пам'ятати наших Учителів, їхню незабутню любов до науки і віддавати глибоку шану людям, які працювали поряд з нами, і працюючи, стали нашим судьбоносним дороговказом.

Список використаних джерел

1. Андреева-Григорович А. С. Зональний поділ за нанопланктоном палеогенових відкладів Бахчисарая / А. С. Андреева-Григорович // Доп. АН УРСР. Сер. Біол. – 1973. – № 3. – С. 195–197.
2. Глядівська світа палеоцену Канівського стратотипу / С. А. Мороз, Н. С. Кирвел, Ю. В. Совяк-Круковський, Л. В. Чернова // Тез. XVIII сесії УПТ. – К., 1995. – С. 46–47.
3. Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Центральноросійська серія. Аркуш М-36-XX (Корсунь-Шевченківський). – К. : Державна служба геології та надр України, Державне підприємство "Українська геологічна компанія", 2012. – 191 с.
4. З галереї славетних синів України (до 70-річчя з дня народження С. А. Мороза) / О. Ю. Митропольський, Є. П. Ларченков, М. С. Огняник, О. М. Іванік // Геолог України. – 2007. – № 1. – С. 66–69.
5. Іванік О. М. Створення седименто-літогенетичних моделей для вирішення проблемних ситуацій дослідження седиментаційних обстановок океанічних басейнів / О. М. Іванік, С. А. Мороз, О. Ю. Митропольський // Геолог від Бога. Науково-навчальний посібник. – К. : Знання, 2000. – С. 187–195.
6. Киселевич Л. С. Проблеми виділення в районі Канівських дислокацій глядівської світи палеоцену та її валідність / Л. С. Киселевич // Геол. журн. – 2008. – № 4. – С. 131–136.
7. Митропольський О. Ю. Морська геологія : підручник / О. Ю. Митропольський, О. М. Іванік. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 478 с.
8. Мороз С. А. Біостратиграфія палеоцену Канівського стратотипу / С. А. Мороз, І. П. Соколов, Ю. В. Совяк-Круковський – К. : Ін-т геол. наук НАН України, 1994. – 46 с. (Препринт / НАН України, Ін-т геол. наук; 94-2).
9. Мороз С. А. Особливості палинокомплексу олістостромної товщі глядівської світи Канівського стратотипу "бореального" палеоцену / С. А. Мороз, Н. С. Кирвел, Л. В. Чернова // Тези XIX сесії УПТ. – К., 1996. – С. 42–43.
10. Мороз С. А. Палинологічна характеристика палеогенових відкладів Канівського та Лузанівського стратотипів / С. А. Мороз, Н. С. Кирвел, І. П. Соколов // Геолог від Бога. – К., 2000. – С. 28–38.
11. Сергій Амвросійович Мороз. Бібліографія / С. Г. Половка, О. М. Іванік, Л. В. Попова, О. О. Солоніна – К., 2007. – 40 с.

References

1. Andreeva-Grigoryevich, A. S. (1973). Zonal dissection of Paleogene deposits in Bakhchisarai according to the nannoplancton. *Dop. Akad. Nauk URSR. Ser. Biol.*, 3, 195–197. [in Ukrainian].
2. Moroz, S. A., Kurvel, N. S., Sovyak-Krukovsky, Yu. V., Chernova, L. V. (1995). Paleocene Glyadiv suite of the Kaniv stratotype region. *Ecosystems of the Ukraine geological past*. Kyiv, p. 46–47. [in Ukrainian].
3. State Geological Map of Ukraine. (2012). Scale 1:200 000, sheet M-36-XX (Korsyn-Shechenivskiy). Public service of Geology and Mineral Resources of Ukraine, State Enterprise "Ukrainian Geological Company". Kyiv, 191 p. [in Ukrainian].
4. Mitropolsky, O. Yu., Larchenkov, E. P., Ognanyuk, M. S., Ivanik, O. M. (2007). From a cohort of nice sons of Ukraine (to the 70th anniversary since the birth of S.A. Moroz). *Geologist of the Ukraine*, 1, 66–69. [in Ukrainian].
5. Ivanik, O. M., Moroz, S. A., Mitropolsky, O. Yu. (2000). Creation of sedimento-litogenetic models for the solution of problem situations of the research of the sedimentary situation of oceanic pools: Geologist from God. Kyiv: Znannya, 187–195. [in Ukrainian].
6. Kyselevych, L. S. (2008). Distinguishing problems of Paleocene Glyadiv suite in the Kaniv dislocations region and its validity. *Geological journal*, 4, 131–136. [in Ukrainian].
7. Mitropolsky, O. Yu., Ivanik, O. M. (2016). Marine geology. Kyiv publishing center "Kyiv University", 478 p. [in Ukrainian].
8. Moroz, S. A., Sokolov, I. P., Sovyak-Krukovsky, Yu. V. (1994). Biostratigraphy of Paleogene of the Kaniv stratotype region. Kyiv: Institute of Geosciences of NAS of Ukraine, 46 p. (Preprint / NAS of Ukraine. Institute Geol. Sciences; 94-2). [in Ukrainian].
9. Moroz, S. A., Kurvel, N. S., Chernova, L. V. (1996). Features of palynologic complex of olistostrome thickness of Glyadiv suite of the Kaniv stratotype region of the "boreal" Paleogene. *Abstracts of XIX session of UPS*. Kyiv, 42–43. [in Ukrainian].
10. Moroz, S.A., Kurvel, N.S., Sokolov, I.P. (2000). Palynology characteristic of Paleogene deposits of the Kaniv and Luzaniv stratotype regions: Geologist from God. Kyiv, 28–38. [in Ukrainian].
11. Polovka, S. G., Ivanik, O. M., Popova, L. V., Solonina, O. O. (2007). Sergiy Amvrosiyovych Moroz. The bibliography. Kyiv. 40 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 15.08.17

O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: om.ivanik@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

SCIENTIFIC HERITAGE OF PROFESSOR S.A. MOROZ AND THE IMPLEMENTATION OF ITS IDEAS TO CONTEMPORARY GEOLOGICAL SCIENCE

The article describes the scientific, organizational and public activity of prominent Ukrainian scientist, head of department of general and Historical Geology of Geological Faculty of Taras Shevchenko National University of Kyiv, a famous geologist, stratigrapher, palentologist, Chevalier of the Order "For Merit" of third degree, doctor of geological-mineralogical sciences, professor S.A. Moroz. It reveals the contribution to the improvement and further development of Ukrainian and World geological science, philosophical analysis and philosophical knowledge. The trends of modern geological research related to the scientific heritage of the famous scientist are analyzed.

Е. Иваник, д-р геол. наук, проф.
E-mail: om.ivanik@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА С.А. МОРОЗА И ВНЕДРЕНИЕ ЕГО МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИХ ИДЕЙ В СОВРЕМЕННУЮ ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ НАУКУ

Охарактеризована научная, организационная и общественная деятельность известного украинского ученого, заведующего кафедрой общей и исторической геологии геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, известного геолога, стратиграфа, палеонтолога, кавалера ордена "За заслуги" III степени, доктора геолого-минералогических наук, профессора С. А. Мороза. Освещается його вклад в развитие украинской и мировой геологической науки, философского анализа и мировоззренческого знания. Анализируются направления современных геологических исследований, связанных с научным наследием известного ученого.

О. Шабатура, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: sand@univ.kiev.ua

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

ЗАСЛУЖЕНИЙ ПРОФЕСОР КИЇВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ ТОЛСТОЙ МИХАЙЛО ІВАНОВИЧ – ГЕОЛОГ-ГЕОФІЗИК

Описано наукову, педагогічну та організаційну діяльність видатного українського науковця, організатора наукової структури Київського університету, відомого геолога-геофізика, заслуженого професора М. І. Толстого. Висвітлюється його еволюція від ученого-прагматика до засновника наукової школи між вищими навчальними закладами, з етапами постановки, розробки і вирішення низки фундаментальних завдань геології: кількісний аналіз розподілу хімічних елементів і фізичних властивостей магматичних утворень з використанням математичних методів, палеогеодинамічне і металогенічне прогнозування на основі аналізу комплексних даних, геофізики ландшафтів тощо. Численна і його спадщина прикладних розробок – створено унікальні бази геологічних даних інтрузивних і вулканогенних порід, літотека, фонд стандартів складу, полігони і вимірювальні моніторингові майданчики тощо.



Заслужений професор Михайло Іванович Толстой – відома постать геологічної освіти України останнього півстоліття, діяльність якого пов'язана з геологічним факультетом (ННІ "Інститут геології") Київського національного університету імені Тараса Шевченка, де він працював з 50-х рр. Насамперед ми знаємо М. І. Толстого як надзвичайно талановитого організатора науки і освіти, науковця широких інтересів, що охоплювали цілі пласти фундаментальних і прикладних завдань геології, геофізики, екології. Завдяки своєму авторитету і фаховості Михайло Іванович в різний час був науковим керівником шести державних і чотирьох міжнародних наукових програм (НДР, ЧССР, УНР), у рамках яких сформовано унікальний за представництвом і масштабом геологічний матеріал; виконував численні договірні теми; започаткував і організував національні й міжнародні наукові конференції з фундаментальних, проблемних і піонерських питань наук про Землю. Він – ініціатор, організатор і безпосередній виконавець геологічних експедицій (Україна, Казахстан, Північний Кавказ, Забайкалля, Вірменія, Кольський півострів, Словаччина, Угорщина, Хорватія, Німеччина). М. І. Толстой підтримував дружні творчі стосунки з національними вишам та науковими інститутами Національної Академії наук України, близького і далекого зарубіжжя (Кракова, Братислави, Лейпцига, Загреб, Дебрецена, Фрайберзькою гірничою академією).

Михайло Іванович Толстой – засновник науково-дослідної частини університету (1958), доктор геолого-мінералогічних наук (1971), професор (1971), завідувач кафедр геофізики (1975–1981), більше 30 років – провідний науковий співробітник, почесний геолог України та Чехословаччини. Він очолював Раду старійшин Київського університету, був організатором Проблемної лабораторії (з якої вийшло щонайменше як половина співробітників геологічного факультету); керівником навчальних і тематичних практик; куратором формування і систематизації колекцій гірських порід факультету, яка лягла в основу літотеки ННІ "Інститут геології". З його ініціативи було засновано оздоровчо-спортивний комплекс в Береговому (Крим).

Михайло Іванович народився у Києві 3 березня 1928. Дитинство припало на важкий воєнний час в евакуації, виснажливу працю на військовому заводі. Після війни закінчив 2 курси Київського геологорозвідувального технікуму (1946). На той час технікум вважався одним з найкращих середньотехнічних навчальних закладів геологічного профілю країни завдяки своєму висококваліфікованому педагогічному колективу, матеріальній базі та професійним навчальними практикам. Власне в технікумі завдяки таким викладачам, як К. Л. Бокало, Я. М. Левітес, О. Я. Осипенко остаточно сформувалося життєве кредо Михайла Івановича – геологія як наука і як напрям у вищій школі.

З моменту, коли Михайло в 1947 р. екстерном склав вступні іспити на геологічний факультет (на спеціалізацію "Геофізичні методи пошуків і розвідки корисних копалин"), навчання в університеті, а особливо навчальні та виробничі практики, підтвердили правильність вибору професії – геології та геофізики. Цьому вибору особливо він завдячував своєму оточенню, що складалося з видатних організаторів науки і талановитих викладачів. На той час декан геологічного факультету – відомий геохімік, учень А. Е. Ферсмана, професор Б. А. Гаврусевич, викладачі В. І. Лучицький, Є. С. Бурксер, М. П. Семененко, Н. Ф. Балуховський, П. М. Червінський, К. І. Маков, В. Б. Сологуб, на старших курсах

– О. Л. Ейнон, С. П. Родіонов, А. П. Ротай, М. Д. Седлецкий, В. Н. Головцин, М. Н. Ключников, І. С. Усенко, Г. І. Підплічко, І. Є. Слензак. Велике значення у становленні науковця як геолога-геофізика мали геологічні практики: навчальні – геолого-стратиграфічна по відслоненій частині правобережжя Дніпра в районі Києва та Канева; виробничі – у Західному Сибіру та в Українському Поліссі, на півночі Житомирської області.

Практичний досвід від роботи, навіть якщо вона не приносить швидкого успіху, завжди корисний. Але, якщо під час першої самостійної роботи відкрито рудопрояви – це вагома мотивація для молодого геолога. Так, під час першої виробничої практики М. І. Толстого на території Красноярського краю досліджувався методом ВЕЗ підземний рельєф на виявлення депресій у фундаменті. Очікувалося, що в западинних частинах кристалічного фундаменту відкладатимуться товщі, збагачені каситеритом. Пошукове буріння по визначених Михайлом Івановичем ділянках виявилось продуктивним. Камеральний період другої дипломної практики проходив у геофізичній експедиції в Умані, де він познайомився із С. І. Субботіним, майбутнім академіком і директором новоствореного Інституту геофізики. Серафим Іванович значно допоміг дипломанту у збиранні та аналізі матеріалів комплексних геофізичних робіт (магніто-, граві-, електророзвідки), а їхня дружба і співпраця продовжувалися довгі роки. Цікавою фондовою знахідкою Михайла Івановича в уманській експедиції були звіти з геофізичних робіт, написані німецькою мовою, виконані інженером Л. Лаутербахом у період війни щодо мікромагнітної зйомки інтрузивних масивів. Іронія долі полягає в тому, що через 40 років Михайло Іванович познайомився з професором Л. Лаутербахом у Лейпцизькому університеті під час вивчення Рудних гір.

Після захисту диплому і закінчення Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка (1952) вчена рада рекомендувала М. І. Толстого до вступу до аспірантури. Наукова робота Михайла Івановича, яка здійснювалася під керівництвом професора Є. С. Бурксера, була присвячена проблемі радіоактивності менілітових сланців Прикарпаття та їхньому практичному використанню. Тоді ця проблема, висловлена Є. С. Бурксером і академіком В. Б. Порфір'євим, полягала у відшукуванні ефективної технології відокремлення (сепарації) органічної складової сланців від породи, оскільки було виявлено, що комплексні органічні сполуки шестивалентного урану при внесенні в ґрунт мають стимулюючий вплив на ріст рослин, а тонкозерниста глиниста компонента сланців, навпаки, приводила до замулювання родючого шару ґрунту і втрати його родючості. Першим кроком до визначення діючого фактора менілітових сланців необхідно було провести весь комплекс геологорозвідувальних і пошукових робіт: відібрати кам'яний матеріал по всьому регіону, здійснити пробопідготовку, аналітику (визначення кількісного вмісту радіоактивних елементів, їхню мінералізацію, фазовий склад урану), обробити і проаналізувати результати. З притаманною йому енергією М. І. Толстой взявся за цю роботу з допомогою директора ІГГГК академіка АН УРСР В. Б. Порфір'єва, директора УкрДГРІ М. М. Муровцева, геолога Н. Р. Ладиженського. Хоч дослідження показали, що на даному етапі розвитку геотехнологій неможливо отримати дешевого концентрату віддиспергованих сполук урану, але за цими повними і детальними матеріалами була захищена кандидатська дисертація (1955).

Наступна робота була виробничого характеру – у геологорозвідувальній партії № 4 експедиції "Главолово" старшим інженером-геофізиком. Короткий період роботи на цій посаді охоплював геофізичні (електророзвідувальні, радіоактивні) та мінерало-петрографічні роботи в районі с. Перга Олевського району Житомирської області. У процесі роботи Б. С. Гаврусевич звернув увагу на особливості забарвлення і мінерального складу гідротермально-змінених гранітів. Їхні проби були надіслані на аналіз до Одеського інституту кольорових металів і лабораторії треста Мінгео СРСР (м. Москва). Уже пізніше стало відомо, що відібрані пошуковим загonom під керівництвом Б. С. Гаврусевича зразки показали гігантський вміст берилію та інших рідкісних хімічних елементів. У кінці року М. І. Толстой поїхав до Казанського університету за попередньою домовленістю зі своїм колегою Л. І. Орапом, де протягом 1955–1956 навч. року читав лекції й проводив практичні заняття за спецкурсами "Радіометрія", "Фізико-хімічні методи пошуків корисних копалин".

Після нетривалої праці в Казанському університеті подальша науково-педагогічна діяльність Михайла Івановича в Київському університеті ім. Т. Г. Шевченка була надзвичайно багатогранна і плідна. Проявивши ініціативу, М. І. Толстой домогся дозволу на створення науково-дослідного сектора (НДС) в Київському державному університеті (19 квітня 1956 р.), начальником якого він і став. Це взагалі був перший досвід створення окремих НД секторів у вищих СРСР. Раніше практикувалося залучення університетських співробітників лише в рамках госпдоговірних робіт (В. Головцин, О. Ейнон, Ф. Руденко, Б. Гаврусевич, В. Латиш, В. Куликовський), але тепер уперше університет мав окрему структуру для такої діяльності. Цей досвід був удалий, тому швидко поширився і в інших вищих навчальних закладах СРСР.

Уже в травні 1956 р., разом із Б. С. Гаврусевичем, А. В. Бельським були проведені перші геологорозвідувальні роботи рідкісних металів в Олевському районі; протягом 1956–1958 рр. – у Північному Казахстані та інших регіонах. Під час польових експедицій і партій в НДС працювало більше 300 співробітників. Висока кваліфікація співробітників університету дозволила виконувати кондиційне геологічне картування, що було підтверджено успішними захистами аркушів геологічної карти. Щорічні й тривалі відрядження в спекотні землі північного і південного Казахстану в колективі друзів і однодумців – один із найщасливіших періодів життя Михайла Івановича, про що він неодноразово згадував. Польові матеріали накопичувалися дуже швидко, їхня обробка й аналіз оформлювалися у вигляді статей. Тому з 1959 р. НДС КНУ почав видавати щорічний збірник наукових праць.

У 1964 р. М. І. Толстой працює на посаді доцента, а потім і професора кафедри геофізичних методів пошуків і розвідки корисних копалин геологічного факультету (1971–2002). З 1966 р. – він беззмінний керівник свого улюбленого дітища "Проблемної лабораторії фізико-хімічних досліджень гірських порід". Лабораторія організаційно і кадрово виросла із НД лабораторії геологічного факультету "Радіометричні методи досліджень гірських порід". Створенню лабораторії передувало накопичення величезного матеріалу, зібраного під час госпдоговірних робіт (Україна, Середня Азія, Казахстан, Забайкалля, Карелія і Кольський півострів). Робота над матеріалом передбачала осмислення фундаментальної проблеми петрогеохімії й прикладної геофізики – розробку теорії й методів кількісного моделювання розподілу хімічних елементів і фізичних властивостей гірських порід і пов'язаних з цим різноманітних прикладних задач. З цієї метою Михайло Іванович постійно особисто підбирав, оцінював кожного із членів колективу лабораторії, створював коло однодумців, активно співпрацював з науковцями і виробничниками СРСР, накопичував і поліпшував матеріальну базу (мікроскопи, спектрографи, геофізичне обладнання, автотранспорт, польове обладнання, матеріали та устаткування). Власне, у цей період (1957–1966), були закладені основи нової наукової школи геологічного факультету – "Прикладна петрохімія і петрофізика магматичних порід". Це був надзвичайно продуктивний період життя М. І. Толстого, представлений численними науковими, творчими, організаційними здобутками і досягненнями, зростанням авторитету і визнання.

Освіта геофізика підсвідомо змушувала Михайла Івановича не обмежуватися лише описом досліджуваних об'єктів, але і формалізувати масову інформацію в кількісні показники, відшукуючи певні закономірності. Однією із таких розробок була розробка стійких статистичних критеріїв просторової дискримінації геохімічних ореолів (М. І. Толстой, І. М. Остафійчук, М. Н. Жуков). Зокрема, було показано інформативність використання нормованої дисперсії й показника асиметрії вмісту ряду хімічних елементів для розрізнення інтенсивності геохімічних процесів, виконано теоретичне обґрунтування низки питань методів і практики геохімічного опробування (вибір оптимальної кількості проб, їхньої ваги, планування мережі та плану опробувань з наперед заданою точністю тощо). Багато з цих розробок лягли в основу монографії й докторської дисертації М. І. Толстого та праць співробітників ПНДЛ.

При розробці фундаментальної проблеми "Створення кількісної моделі розподілу вмісту хімічних елементів у магматичних утвореннях" були встановлені стійкі залежності й розроблено досить продуктивні закономірності. Але наступний крок – просте перенесення виявлених закономірностей на інші об'єкти, формально подібні, але утворені в інших геологічних умовах, стикнувся з численним методичними труднощами і складністю теоретичного обґрунтування. Обговорення цього питання зі своїм старим другом і соратником професором МДУ В. С. Коптев-Дворніковим привело М. І. Толстого до рішення виконати кардинальну зміну об'єктів досліджень – акцент перемістити з інтрузивних на вулканогенні утворення. Вважалося, що розподіл хімічних елементів у новітніх вулканогенних утвореннях буде повніше відповідати умовам утворення і складу вихідних магматичних розплавів і тому отримані речовинні показники цього розподілу будуть позбавлені внеску різноманітних вторинних і накладених процесів, типових для інтрузивних порід, і матимуть незміщені "природні" розподіли. Тому і створення методичних інструментів для кількісної оцінки металонасності, прогнозу пошуків багатьох рудних копалин, зіставлення і кореляції можуть бути, в принципі, досяжними і продуктивними. Ця ідея була обговорена з академіками В. В. Щербаковим, Г. С. Дзюценідзе, А. А. Адамяном і створена перспективна програма робіт, що включала вулканічні утворення Альпійського поясу східноєвропейських вулканогенних утворень (Кавказ, Крим, Карпати) та Тихоокеанський пояс (Камчатка, Курили). У цих роботах брали участь геологи МДУ – В. С. Коптев-Дворніков, М. В. Короновський, О. Д. Аракчеев, М. Д. Петрова, Вірменської АН – С. Г. Карапетян, А. А. Адамян, К. Г. Ширинян, Грузинської АН – Г. С. Дзюценідзе, Міністерства геології УРСР – В. М. Зайцева, Є. О. Лазаренко, Є. М. Титов, Б. В. Мерліч; Дебреценського університету Угорщини – В. Секіне-Фукс, І. Кульчар, С. Дюла, Чехословацької АН – Б. Цамбел, М. Бемер, Т. Грегор, Г. Штельцл, Й. Станек та ін.

Цей "вулканологічний" етап діяльності ПНДЛ яскраво показав, що обмін досвідом і спеціалістами в разі поліпшує ефективність міжнародної й міжвідомчої наукової кооперації, зокрема для здійснення великомасштабних регіональних програм і прикладних тем, а також має неоціненний вплив на становлення наукових і освітнянських кадрів. Можна сказати, що за кількістю задіяних співробітників факультету і ПНДЛ (Г. Т. Продайвода, В. Г. Молявко, А. В. Сухорада, С. Б. Степченко, А. Ю. Серга, Е. В. Слинько, Т. І. Самаріна, Л. Я. Табачний, П. С. Воронцов, В. І. Козенко, О. В. Клевцовський, Н. В. Оконішнікова, І. С. Литвиненко, В. А. Михайлов, Є. І. Мурейко, Ю. Л. Гасанов та ін.), масштабом і якістю робіт це була одна з найпродуктивніших фаз життя Михайла Івановича Толстого та геологічного факультету КНУ. У цей період видано численні статті, монографії, захищено кандидатські й докторські дисертації, патенти, виконано апаратні розробки, організовано курси підвищення кваліфікації, семінари, створено низькофонову магнітно-радіометричну станцію.

Із 1974 р. лабораторія почала випускати збірник наукових праць "Вопросы прикладной геохимии и петрофизики", який швидко став міжвідомчим і витримав 17 видань (до 1991 р.).

У процесі регіональних досліджень фанерозойських утворень (Казахстан, Кавказ, Карпати, Забайкалля) був накопичений значний методичний і фактологічний матеріал, утілені розробки щодо вирішення кількісних задач розчленування, кореляції, оцінки металонасності цих утворень. Ураховуючи роль докембрійських гранітоїдів у геологічній будові України, доцільним було б використати ці нароби для з'ясування нерозроблених питань їхнього петрогенезису, стратиграфії тощо. Задля цієї мети ініціативою М. І. Толстого була створена програма "Надра" на 1981–1985 рр., яка отримала статус державної. Вона була продовжена другим етапом з назвою "Граніт" (1986–1990). Це була надзвичайно масштабна наукова програма, яка після "вулканічної" набула риси унікального наукового дослідження. Головна організація виконання програми "Надра" – Проблемна лабораторія геологічного факультету КДУ, науковий керівник – професор М. І. Толстой, а також професори В. С. Заїка-Новацький (КНУ), Е. М. Лазько, ст. наук. співроб. К. І. Свешников, доценти В. П. Кирилюк, А. М. Лисак (ЛНУ), І. В. Носирев, В. М. Кадурін (ОУ), професор Б. С. Панов, доценти Р. М. Полуновський, Є. М. Шеремет (Донецький політехнічний інститут), ст. наук. співробітники І. Б. Щербаков, К. Є. Єсипчук, В. І. Орса (Інститут геохімії та фізики мінералів НАН УРСР), І. К. Пашкевич, М. П. Михайлова (Інститут геофізики АН УРСР). Крім вирішення низки методичних питань і комплексного вивчення основних петротипів українського щита, був створений багатодільовий банк даних (хімічний склад і фізичні властивості гірських порід) унікального фонду стандартів складу і методика їхнього отримання (усього 17 стандартів від перидотитів до маріуполітів і карбонатитів). Стандарти складу пройшли широку верифікацію (по провідних лабораторіях СРСР, НДР, ЧРСР) і були прийняті як галузеві. На жаль, подальше скорочення об'єму геологорозвідувальних робіт, а разом з ними й об'єму аналітичних робіт негативно відобразилося на подальшому розвитку фонду стандартів складу, які так і залишилися як "потенційно-інноваційний" продукт. Так само вже в 90-х рр., піонерська ідея Михайла Івановича про створення фонду складу ґрунтів України не вийшла зі стадії проекту.

Проробленим напрямом, яке М. І. Толстой з колективом постійно доповнював, переробляв і вдосконалював, був напрям комплексної петрогеохімічної характеристики магматичних асоціацій, що включав як петрологічний аспект, так і металогенічний прогноз (особливо на рідкісні та рідкісноземельні елементи). Новаторським у цій сфері була розроблена разом з А. П. Гожиком і А. В. Сухорадою генетична і петрофізична класифікація гранітоїдних утворень (захищена свідоцтвом про відкриття), яка дозволяла проводити кількісну об'єктивну петрогенетичну класифікацію гірських порід гранітоїдного складу на основі комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей.

Про розмах програм "Надра"–"Граніт" свідчить той факт, що комплексному опробуванню (петрографічного, петрохімічного, геохімічного (за 30 мікроелементами), петрофізичного (15 характеристик)) підлягали всі основні масиви і більше 150 петротипів гранітоїдів УЩ. Лавиноподібний характер наростання інформації мимоволі змушував виконувати систематизацію і застосовувати математичні методи обробки інформації. Тому М. І. Толстой мав у себе

окрему групу дослідників, які здійснювали обробку і поглиблений аналіз валової геологічної інформації (М. Н. Жуков, А. Ю. Серга та ін.), розробляли нові алгоритми обробки (інформаційно-логічна система "Фільтр", М. Н. Жуков), проводили статистичне моделювання, кодифікацію непараметричної інформації, створювали комплексні цифрові образи перспективних геологічних об'єктів тощо.

Результати цих робіт уже в 1994–2014 рр. лягли в основу, на жаль, незавершеної розробки петрогеохімічного і петрофізичного класифікатора магматичних утворень Українського щита для цілей пошуків безпечного сховища радіоактивних відходів. Застосування класифікатора значно спрощувало і формалізувало б пошук перспективного майданчика під сховище, оскільки дозволило об'єктивно оцінювати рівні відповідності критеріям, які висуваються до сховища, а її гнучкість дозволяла включати й інші параметричні та непараметричні оцінки.

У рамках виконання програми "Надра"—"Граніт" під керівництвом М. І. Толстого були досліджені гранітоїди Бренського, Бійського масивів Моравії та Словаччини, в яких брали участь співробітники ПНДЛ: І. М. Остафійчук, А. В. Сухорада, В. Г. Моляк, Бренського університету: проф. Г. Штельцл, доц. М. Грегора, доц. Й. Станек, Інституту геології Чехословацької АН: Т. Грегор; гранітоїдів Східної Німеччини (Рудні гори, Грац та Ін.) – співробітниками Лейпцизького університету: проф. Г. Ольцах, асист. Г. Юст, Р. Хазе. Зрозуміло, що масштабна робота, яка має велику кількість різномірних виконавців, обумовлює численні труднощі, часто навіть комунікативного характеру. Тому Михайло Іванович здійснював часті поїздки до Чехословаччини та Німеччини. Варто згадати про тривалу і міцну дружбу з академіком Г. Штельцелом і Г. Юстом. Академік Г. Штельцл – непересічна людина в повоєнній чеській геології, з різноманітним інтелектуальним доробком і громадською позицією (захищав чеську ідентичність під час німецького протекторату). У геологічну галузь академік Штельцл прийшов з археології, мав численні публікації з антропології, історії Чехії, але відомий, насамперед, як геолог. Його праці (геологічні карти, монографії) характеризуються повнотою, детальністю та системністю, глибоким аналізом матеріалу. Він разом з Михайлом Івановичем, проводив наукове дослідження спорідненості й перспективності різномірних гранітоїдних комплексів Чеського масиву та інтрузивів північно-західної частини Українського щита. Роботи по німецькій частині Рудних гір група співробітників КНУ на чолі з М. І. Толстим виконувала в супроводі Гюнтера Юста. Разом вони об'їздили всі Рудні гори, Гарц, Саксонію і Тюрингію для відбору проб гірських порід і геологічного опису. Виявилася ще одна спільна зацікавленість – радонова тематика, в якій вони розробляли методики вимірювання і ділилися досвідом з еманацийних зйомок протягом останніх 40 років. Пізніше еманацийні дослідження були широко застосовані М. І. Толстим під час геоекологічних робіт, а Г. Юст став відомим експертом у Західній Європі з бальнеологічного аспекту радонотерапії.

Геофізик за базовою освітою, Михайло Іванович відчував величезний нереалізований потенціал прикладної геофізики, тому надзвичайно ретельно ставився до постановки петрофізичних досліджень (методичних аспектів, апаратури та устаткування, постановки завдань). Тому всі його великі проекти завжди мали вагомий складовий петрофізичний робіт. Набутий значний авторитет ПНДЛ у галузі прикладної петрофізики був високо оцінений в країні й за кордоном, що сприяло створенню Петрофізичної комісії (1985) при Петрографічному комітеті відділення геології, геохімії, геофізики і гірських порід АН СРСР і МінгеоСРСР. Власне М. І. Толстой став її головою, ученим секретарем – А. В. Сухорада (з 1985 р.), з 1989 р. – А. П. Гожик. До складу комісії увійшли відомі петрофізики Н. Б. Дортман, Н. М. Михайлова, М. П. Воларович, Т. С. Лебедев, В. Н. Шолпо та ін.

Михайло Іванович Толстой завжди проводив політику якнайширшого залучення спеціалістів різного профілю, фаху та особливо студентської молоді, аспірантів і стажерів. Для них це було неоціненною "школою" безпосередньої науково-практичної діяльності. У 80-х рр. у дослідженнях, а також в обробці й аналізі матеріалів брали участь інженерно-технічний персонал ПНДЛ і студенти геологічного факультету – А. П. Гожик, Е. В. Санін, Г. Г. Павлов, К. О. Лобанов, О. В. Клевцовський, В. В. Плахута, В. М. Гайдученко, М. С. Самодумова, В. І. Козенко, Н. В. Костенко та ін. Підсумовуючи педагогічну діяльність, відмітимо, що під керівництвом М. І. Толстого захищено 16 кандидатських і 14 докторських робіт.

Маючи вагомий матеріальну базу і науково-методичні напрацювання, не дивно, що після аварії на ЧАЕС ПНДЛ зі своїм апаратним парком і потужним колективом брала участь у виконанні геоекологічних досліджень на території Полісся і Карпат у межах міжвідомчої науково-практичної програми "Збереження рослинного і тваринного світу України" (1992). Запропонована Михайлом Івановичем ідея полягала у створенні в основних ландшафтних і геоекологічних зонах України обладнаних майданчиків тривалого (моніторингового) вимірювання міграції радіонуклідів, до яких би могли прив'язуватися будь-які результати інших локальних інструментальних вимірювань екологічного напрямку. З цією метою були створені випробувальні й вимірювальні полігони (Бучанський, Мізунський, Шацький та ін.) та низькофонова моніторингова станція на Жуковому Хуторі. У виконанні програми, крім лабораторій, були задіяні: кафедра загальної і теоретичної геології ІФНУНГ (проф. О. М. Адаменко), кафедра фізичної географії ЛДУ (проф. Я. О. Кравчук, доц. А. Богущкий, асист. А. І. Карпенко), кафедра загальної і морської геології ОДУ (доц. І. В. Носирев, доц. В. М. Кадурін).

Змінивши на нове "екологічне" поле свої наукові інтереси, М. І. Толстой відчував, що тут існують традиційні підходи, школи та авторитети і він лише зможе розвиватися екстенсивним шляхом у межах існуючих наукових положень. Прагнучи створити нові підходи до вивчення геохімічних ландшафтів, з огляду на власний науковий багаж ним був запропонований т. з. геоекологічний комплекс як аналог існуючого "раціонального геофізичного комплексу". До складу комплексу входили радіометричні методи, мікроВЕЗ, радонометрія, разом із вивченням макро- і мікроелементного складу, який би давав змогу створити більш чутливий інструмент вивчення міграції хімічних елементів. Здійснені геоекологічним комплексом дослідження дозволили сформулювати ряд нових результатів, що полягають у виявленні геофізичних характеристик низки геохімічних бар'єрів, уперше проведеній геофізичній типізації елементарних геохімічних ландшафтів, факторизації діючих чинників розподілу хімічних елементів під дією слабких і помірних техногенних навантажень. Моніторингові екологічні роботи в рекреаційній зоні навколо Києва, з одного боку, показали, що міграція техногенних радіонуклідів у латеральному і радіальному напрямках відбувається з дуже малою інтенсивністю, переважна частина радіонуклідів міцно зв'язується в органічних сполуках ґрунтів і мулів та іміобілізується. Математична модель балансу техногенних радіонуклідів цезію-137 та стронцію-90 низькофонового полігону "Бучанський" показала спочатку повільний ріст, потім стабілізацію і наступне експоненційне зниження кількості техногенних радіонуклідів. Усе це дозволило стверджувати, що відсутня реальна шкода від цієї компоненти для довкілля даної Ірпінь-Буча-Вор-

зельської зони та передбачити сприятливий прогноз. Знайдені стійкі еманційні аномалії переважно радонової природи на території зони могли б доповнити рекреаційний фонд території медично-реабілітаційними центрами радоно-терапії, як це зроблено в Миронівці, Хмільнику, Маньківці тощо.

В останні роки Михайло Іванович Толстой тісно займався проблемою створення інтегральної енергетичної моделі Землі, в якій би узгоджувалися фундаментальні принципи фізики, геотектоніки та геохімії. Зважаючи на свою позицію і авторитет, Михайло Іванович не соромився висувати альтернативне бачення на "традиційні" положення геології, тому активно розвивав принципи теорії неорганічного походження вуглеводнів та їхнього перманентного відтворювання, зокрема в місцях вулканізму; гіпотезу про прояви тектономагматичної активізації як наслідок зміни термодинамічної рівноваги речовини в нижніх шарах мантиї Землі й пов'язаних з ними глобальними та регіональними зонами в земній корі для глибинних флюїдів і т. ін.

Науковий здобуток Михайла Івановича складається з більш ніж 250 друкованих статей, 12 монографій, 10 підручників, 12 винаходів, 1 наукового відкриття "Явление петрофизической фиксации геодинамических процессов гранитоидными образованиями". Розроблено й викладалися в Київському університеті лекційні курси з дисциплін "Радіометричні і фізико-хімічні методи досліджень" (1956), "Ядерна геофізика" (із 1974 р.), "Методи прикладної геофізики" (1986), "Геохімічні методи пошуків рудних родовищ" (1955–1956), "Ядерна геологія", "Геофізичні методи досліджень" (1972), "Основи наукових досліджень" (1972). М. І. Толстой – професор Брненського університету ім. Яна Пуркіне, "Заслужений робітник гірничої служби ЧССР", академік Академії інженерних наук України (1991), мав звання "Заслужений професор Київського національного університету імені Тараса Шевченка", "Почесний розвідник надр", "Заслужений діяч науки і техніки України", нагороджений дипломом і медаллю Міністерства вищої і спеціальної освіти УРСР за кращу наукову роботу, знаком "Відмінник освіти України", орденом "За заслуги" III ст. (2009).

Учні й вихованці наукової школи Михайла Івановича, декілька поколінь його випускників, знайомі і співробітники, колеги, усі, хто був пов'язаний діловими і близькими стосунками, зберігатимуть пам'ять про нього у своєму житті й праці, підтверджуючи вислів самого Михайла Івановича "життя Людини – не кількість прожитих днів, навіть не кількість пам'ятних днів, а його справи, які пам'ятають інші люди".

Надійшла до редколегії 07.08.17

O. Shabatura, Cand.Sci. (Geol.), Senior Researcher
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

PROFESSOR EMERITUS OF THE KYIV UNIVERSITY, TOLSTOY MYKHAYLO – GEOLOGIST-GEOPHYSICIST

The article describes the scientific, pedagogical and management activities of the prominent Ukrainian scientist, organizer of the scientific structure of the Kiev University, the famous geologist-geophysicist – Professor Emeritus Tolstoy Mykhailo. The evolution from the scientist-pragmatist to the founder of the interbranch scientific school is covered. There are the stages of foundation, development and solving of a number of fundamental problems of geology: the quantitative analysis of the distribution of chemical elements and physical properties of magmatic formations using mathematical methods, paleogeodynamic and metallogenic prediction based on the analysis of complex data, geophysics of landscapes; numerous heritage of applied developments – an unique databases of geological data of intrusive and volcanogenic rocks, lithotheque, a fund of standards, the monitoring sites etc.

А. Шабатура, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ЗАСЛУЖЕННИЙ ПРОФЕСОР КИЄВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТА ТОЛСТОЙ МИХАІЛ ІВАНОВИЧ – ГЕОЛОГ-ГЕОФІЗИК

Описана научная, педагогическая и организационная деятельность выдающегося украинского ученого, организатора научной структуры Киевского университета, известного геолога-геофизика, заслуженного профессора М. И. Толстого. Показана его эволюция от ученого-прагматика к основателю междисциплинарной научной школы с этапами постановки, разработки и решения ряда фундаментальных задач геологии, таких как: количественный анализ распределения химических элементов и физических свойств магматических образований с использованием математических методов, палеогеодинамическое и металлогеническое прогнозирование на основе анализа комплексных данных, геофизики ландшафтов и т.д. Многочисленно и его наследие прикладных разработок – созданы уникальные базы данных геологических данных интрузивных и вулканогенных пород, литотека, фонд стандартных составов пород, полигоны и измерительные мониторинговые площадки и т.д.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 3(78)

Комп'ютерна верстка та коректування О.О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 12,1. Наклад 300. Зам. № 217-8489.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Глз.
Підписано до друку 21.09.17

Видавець і виготовлювач
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; тел./факс (38044) 239 31 28
e-mail: vpc_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
http: vpc.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02