



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

GEOLOGICAL JOURNAL

Засновники
Національна академія наук України
Інститут геологічних наук
НАН України

Науковий журнал,
заснований у березні 1934 року
Виходить один раз
на три місяці

2016 * № 3 (356)

Головний редактор
ГОЖИК Петро Феодосійович

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

АНДРЕЄВА-ГРИГОРОВИЧ А. С. (Україна)
ВЕЛІКАНОВ В. Я. (Україна)
ГАЛЕЦЬКИЙ Л. С. (Україна)
ГЕВОРК'ЯН В. Х. (Україна)
ГІНТОВ О. Б. (Україна)
ГАРЕЦЬКИЙ Р. Г. (Білорусь)
ДЕМЧИШИН М. Г. (Україна)
ДУГІНА Н. І. (Україна) заст. гол. редактора
ЗАГОРОДНЮК П. О. (Україна)
ЗОСИМОВИЧ В. Ю. (Україна)
ІВАНІК М. М. (Україна)
КЛИМЧУК О. Б. (Україна)
КРИВДІК С. Г. (Україна)
ЛАВРУШИН Ю. О. (Росія)
ЛУКІН О. Ю. (Україна)

ЛЯЛЬКО В. І. (Україна) заст. гол. редактора
МАРКС ЛЕШЕК (Польща)
МИТРОПОЛЬСЬКИЙ О. Ю. (Україна)
ОГНЯНИК М. С. (Україна)
ПОЛЄТАЄВ В. І. (Україна)
СИТНІКОВ А. Б. (Україна)
ФЕДОНКІН М. О. (Росія)
ФЕДОРОВІЧ СТАНІСЛАВ (Польща)
ХРУЩОВ Д. П. (Україна)
ШЕСТОПАЛОВ В. М. (Україна)
ШОВКОПЛЯС В. М. (Україна) заст. гол. редактора
ШНЮКОВ Є. Ф. (Україна)
ШУЙСЬКИЙ Ю. Д. (Україна)
ЩЕРБАК М. П. (Україна)
ЯКОВЛЄВ Є. О. (Україна)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

ГОЖИК П. Ф. (Украина)

АНДРЕЕВА-ГРИГОРОВИЧ А. С. (Украина)

ВЕЛИКАНОВ В. А. (Украина)

ГАЛЕЦКИЙ Л. С. (Украина)

ГЕВОРКЪЯН В. Х. (Украина)

ГИНТОВ О. Б. (Украина)

ГАРЕЦКИЙ Р. Г. (Беларусь)

ДЕМЧИШИН М. Г. (Украина)

ДУГИНА Н. И. (Украина) *зам. глав. редактора*

ЗАГОРОДНЮК П. А. (Украина)

ЗОСИМОВИЧ В. Ю. (Украина)

ИВАНИК М. М. (Украина)

КЛИМЧУК А. Б. (Украина)

КРИВДИК С. Г. (Украина)

ЛАВРУШИН Ю. А. (Россия)

ЛУКИН А. Е. (Украина)

ЛЯЛЬКО В. И. (Украина) *зам. глав. редактора*

МАРКС ЛЕШЕК (Польша)

МИТРОПОЛЬСКИЙ А. Ю. (Украина)

ОГНЯНИК Н. С. (Украина)

ПОЛЕТАЕВ В. И. (Украина)

СИТНИКОВ А. Б. (Украина)

ФЕДОНКИН М. А. (Россия)

ФЕДОРОВИЧ СТАНИСЛАВ (Польша)

ХРУЩЕВ Д. П. (Украина)

ШЕЛКОПЛЯС В. Н. (Украина) *зам. глав. редактора*

ШЕСТОПАЛОВ В. М. (Украина)

ШНЮКОВ Е. Ф. (Украина)

ШУЙСКИЙ Ю. Д. (Украина)

ЦЕРБАК Н. П. (Украина)

ЯКОВЛЕВ Е. А. (Украина)

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

GOZHIK P. F. (Ukraine)

ANDREEVA-GRIGOROVICH A. S. (Ukraine)

VELIKANOV V. Ya. (Ukraine)

GALETSKY L. S. (Ukraine)

GEVORKIAN V. H. (Ukraine)

GINTOV O. B. (Ukraine)

GARETSKY R. G. (Belarus)

DEMCHYSHYN M. G. (Ukraine)

DUGINA N. I. (Ukraine) *Deputy Editor-in-Chief*

ZAGORODNYUK P. O. (Ukraine)

ZOSIMOVICH V. Yu. (Ukraine)

IVANIK M. M. (Ukraine)

KLIMCHOUK O. B. (Ukraine)

KRYVDIK S. G. (Ukraine)

LAVRUSHIN O. A. (Russia)

LUKIN O. Yu. (Ukraine)

LYALKO V. I. (Ukraine) *Deputy Editor-in-Chief*

MARKS LESZEK (Poland)

MITROPOLSKY O. Yu. (Ukraine)

OGNYANIK M. S. (Ukraine)

POLETAEV V. I. (Ukraine)

SITNIKOV A. B. (Ukraine)

FEDONKIN M. O. (Russia)

FEDOROVICZ STANISLAV (Poland)

KHRUSHCHOV D. P. (Ukraine)

SHELKOPLYAS V. M. (Ukraine) *Deputy Editor-in-Chief*

SHESTOPALOV V. M. (Ukraine)

SHNYUKOV Ye. F. (Ukraine)

SHUISKY Yu. D. (Ukraine)

SHCHERBAK M. P. (Ukraine)

YAKOVLEV E. O. (Ukraine)

Видавець: Інститут геологічних наук НАН України

Адреса редакції:

01601 Київ-54, вул. О. Гончара, 55-б

Інститут геологічних наук НАН України

Тел.: 486-38-76

E-mail: geoj@bigmir.net

Редактор І. І. Ліщєновська

Комп'ютерна верстка Л. Г. Мигаль

Надруковано ПП «Фоліант»,

00121 Київ, вул. Семенівська, 13,

тел.: (044) 275-47-55

Свідоцтво про державну реєстрацію

друкованого засобу масової інформації

серія КВ № 13744-2718 ПР від 28.02.2008 р.

Рекомендовано до друку

редакційною колегією журналу

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до державного реєстру видавців, виготівників і роз-

повсюджувачів видавничої продукції

серія ДК № 4631 від 14.10.2013 р.

Здано до набору 15.07.2016. Підписано до друку 18.08.2016. Формат 60x84/8. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 21,0. Тираж 410 прим. Зам. № 23. 2016.



ЗМІСТ

<i>Галецький Л.С., Хрущов Д.П., Ремезова О.О., Яременко О.В., Кравченко О.А.</i> Сучасне трактування геологічної будови Пержанського каситерит-колумбітового родовища	7
<i>Кривдік С.Г., Гаценко В.О., Луньов Є.С.</i> Про контактний вплив сублужних габроїдів (мафітів) Покрово-Кириївського масиву на вміщувальні граніти . . .	21
<i>Михальченко І.І., Іванов Б.Н.</i> Уран і торій у рудних альбітитах глибоких горизонтів Ватутінського родовища (Український щит)	31
<i>Семенюк В.Г.</i> Впровадження приповерхневих методів досліджень на Ротмістрівській імпактній структурі з метою вивчення її геолого-геохімічних особливостей	43
<i>Хрущов Д.П., Бєлевцев Р.Я., Бобров О.Б., Гейченко М.В., Артеменко Г.В., Лобасов О.П.</i> Регіональне цифрове структурно-петрологічне моделювання кристалічних утворень території України	55
<i>Шестопалов В.М., Бублясь В.М.</i> Про формування западинно-каналних структур міграції	73
<i>Огняник М.С., Парамонова Н.К.</i> Теоретична база розрахунку флюїдних систем у забрудненому легкими нафтопродуктами геологічному середовищі у процесі коливання рівня ґрунтових вод. Стаття 2. Теоретична база розрахунку двофлюїдної системи «пегкі нафтопродукти – вода» у пористому середовищі	89
<i>Ситніков А.Б.</i> Методика оцінки випаровування з поверхні ропи Східного лікувального басейну Сакського озера на основі балансу мас солей та об'ємів розсолів	104
<i>Дикань К.В.</i> Про евристичну вартісність неокреаціонізму	113
Із історії науки	
<i>Шаталов М.М.</i> Видатний геолог-зйомщик та стратиграф Донбасу ФЕОДОСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ ЧЕРНИШОВ (До 160-річчя від дня народження)	120
Ювілеї	
Академік ШЕСТОПАЛОВ В'ЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ (До 80-річчя від дня народження)	124



СОДЕРЖАНИЕ

<i>Галецкий Л.С., Хрущев Д.П., Ремезова Е.А., Яременко О.В, Кравченко Е.А.</i> Современная трактовка геологического строения Пержанского касситерит-колумбитового месторождения	7
<i>Кривдик С.Г., Гаценко В.А., Лунев Е.С.</i> О контактовом воздействии субщелочных габброидов (мафитов) Покрово-Киреевского массива на вмещающие граниты	21
<i>Михальченко И.И., Иванов Б.Н.</i> Уран и торий в рудных альбититах глубоких горизонтов Ватутинского месторождения (Украинский щит)	31
<i>Семенюк В.Г.</i> Внедрение приповерхностных методов исследований на Ротмистровской импактной структуре с целью изучения ее геолого-геохимических особенностей	43
<i>Хрущев Д.П., Белевцев Р.Я., Бобров А.Б., Гейченко М.В., Артеменко Г.В., Лобасов А.П.</i> Региональное цифровое структурно-петрологическое моделирование кристаллических образований территории Украины	55
<i>Шестоपालов В.М., Бублясь В.Н.</i> О формировании западинно-канальных структур миграции	73
<i>Огняник Н.С., Парамонова Н.К.</i> Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод. Статья 2. Теоретическая база расчета двухфлюидной системы «легкие нефтепродукты – вода» в пористой среде	89
<i>Ситников А.Б.</i> Методика оценки испарения с поверхности рапы Восточного лечебного бассейна Сакского озера на основе баланса масс солей и объемов рассолов	104
<i>Дыкань К.В.</i> Об эвристической ценности неокреационизма	113
Из истории науки	
<i>Шаталов Н.Н.</i> Выдающийся геолог-съемщик и стратиграф Донбасса ФЕОДОСИЙ НИКОЛАЕВИЧ ЧЕРНЫШЕВ (К 160-летию со дня рождения) ...	120
Юбилей	
Академик ШЕСТОПАЛОВ ВЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ (К 80-летию со дня рождения)	124



CONTENTS

<i>Galetskiy L.S., Khrushchov D.P., Remezova O.O, Yaremenko O.V., Kravchenko O.A.</i> Modern interpretation of the Perga cassiterite-columbite placer deposit geological construction	7
<i>Kryvdik S.G., Gatsenko V.O., Lunev E.S.</i> The impact of the contact subalkaline gabbroids (mafites) of Pocrovo-Kyriyv massif in alkaline granites	21
<i>Mihalchenko I.I., Ivanov B.N.</i> Uranium and thorium in rich uranium ore albitites of deep horizons of the Vatutynka ore deposit (the Ukrainian shield)	31
<i>Semenuk V.G.</i> Implementation of subsurface investigation methods on Rotmistrovka impact crater in order to study its geological and geochemical features ...	43
<i>Khrushchov D.P., Belevtsev R.Ya., Bobrov A.B., Geychenko M.V., Artemenko G.V., Lobasov A.P.</i> Regional digital structural-petrological modeling of cristalline massive of territory of Ukraine	55
<i>Shestopalov V.M., Bublyas V.N.</i> On formation of depression-channel migration structures	73
<i>Ognianik N.S., Paramonova N.K.</i> Theoretical foundation for calculation of fluid systems in the subsurface contaminated with light petroleum products during groundwater fluctuation. Paper 2. Theoretical foundation for calculation "light petroleum products – water" two-phase systems in porous media	89
<i>Sitnikov A.B.</i> The estimation technigue for evaporation from the surface of brine at the Eastern remedial basin of Saky lake using the balance of salt masses and salt brine volumes	104
<i>Dykan K.V.</i> About cognitive significance of neocreationism	113
From the History of Science	
<i>Shatalov N.N.</i> The great geologist-fieldworker and stratigrapher of Donbass FEODOSIY NIKOLAIEVICH CHERNYSHEV (On the 160-years from Birthday)	120
Jubilees	
Academician SHESTOPALOV VYACHESLAV MIKHAYLOVICH (On the eighty-year-old jubilee)	124

ПЕРЕДПЛАЧУЙТЕ «ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ»

- * Засновниками журналу є Національна академія наук України та Інститут геологічних наук НАН України.
- * Журнал висвітлює нові дані геологічної науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати досліджень корисних копалин, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо. Розглядаються переважно об'єкти України, а також інших країн, якщо вони становлять загальнонауковий інтерес.
- * Журнал надає українським і зарубіжним суб'єктам великі можливості для реклами виробів, продуктів, технологій, послуг, які мають відношення до геології, мінеральної сировини, геологорозвідувальних робіт тощо.
- * Журнал розрахований на широке коло геологів: практиків, науковців, викладачів, інженерів, аспірантів, студентів.
- * Матеріали друкуються українською, російською та англійською мовами.
- * Періодичність – 4 рази на рік. Передплатити журнал можна в будь-якому відділенні зв'язку.

СОВРЕМЕННАЯ ТРАКТОВКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПЕРЖАНСКОГО КАССИТЕРИТ-КОЛУМБИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Л.С. Галецкий¹, Д.П. Хрущев², Е.А. Ремезова³,
О.В. Яременко⁴, Е.А. Кравченко⁵**

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: nataly.kiev@i.ua
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отдела геологии и полезных ископаемых.*

² *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: Khrushchov@hotmail.com
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, старший научный сотрудник.*

³ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: titania2305@i.ua
Доктор геологических наук, старший научный сотрудник.*

⁴ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: olya__89@ukr.net
Аспирант.*

⁵ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: Ropyshka@ukr.net
Горный инженер I категории.*

На основе пересмотра традиционных представлений с учетом новых стратиграфических, палеогеографических и литологических данных, а также результатов структурно-литологического моделирования дана современная трактовка геологического строения, рудных характеристик и условий образования Пержанского касситерит-колумбитового элювиально-россыпного месторождения. Разработана цифровая структурно-литологическая модель месторождения, отражающая структурные и вещественные (в том числе рудные) его характеристики. Продемонстрированы роль и возможности технологии цифрового структурно-литологического моделирования, обеспечивающего информационную основу для детальной разведки и эксплуатации месторождений, а также их прогнозирования.

Ключевые слова: россыпи, касситерит, редкометалльное оруденение, структурно-литологическое моделирование.

MODERN INTERPRETATION OF THE PERGA CASSITERITE-COLUMBITE PLACER DEPOSIT GEOLOGICAL CONSTRUCTION

**L.S. Galetskiy¹, D.P. Khrushchov², O.O. Remezova³,
O.V. Yaremenko¹, O.A. Kravchenko⁵**

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: nataly.kiev@i.ua
Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, head of the department of mineral deposit geology.*

² *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: Khrushchov@hotmail.com
Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, senior research worker.*

³ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: titania2305@i.ua
Doctor of geological sciences, senior research worker.*

⁴ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: olya__89@ukr.net
Graduate student.*

⁵ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: Ropyshka@ukr.net
Mining engineer.*

© Л.С. Галецкий, Д.П. Хрущев, Е.А. Ремезова, О.В. Яременко, Е.А. Кравченко, 2016

Basing upon a revision of traditional notions considering recent stratigraphic, paleogeographic and lithological data, as well as results of digital structural-lithological modeling the modern interpretation of geological construction, ore characteristics and genesis for Purga cassiterite-columbite eluvial-placer deposit is presented. Digital structural-lithological model reflecting structural and matter (including ore) characteristics of the deposit was developed. The role and possibilities of digital structural-lithological modeling technologies intended for information support of deposits exploration and exploitation are demonstrated.

Key words: placers, cassiterite, rare metals, structural-lithological modeling.

СУЧАСНЕ ТРАКТУВАННЯ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ ПЕРЖАНСЬКОГО КАСИТЕРИТ-КОЛУМБІТОВОГО РОДОВИЩА

Л.С. Галецький¹, Д.П. Хрущов², О.О. Ремезова³,
О.В. Яременко⁴, О.А. Кравченко⁵

¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: nataly.kiev@i.ua
Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідуючий відділу геології та корисних копалин.

² Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: Khrushchov@hotmail.com
Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, старший науковий співробітник.

³ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: titania2305@i.ua
Доктор геологічних наук, старший науковий співробітник.

⁴ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: olya__89@ukr.net
Аспірант.

⁵ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: Ropyshka@ukr.net
Гірничий інженер I категорії.

На основі перегляду традиційних уявлень з урахуванням нових стратиграфічних, палеогеографічних та літологічних даних, а також результатів структурно-літологічного моделювання дано сучасне трактування геологічної будови, рудних характеристик та умов утворення Пержанського каситерит-колумбітового елювіально-розсипного родовища. Розроблено цифрову структурно-літологічну модель родовища, яка відображає структурні та речовинні (в тому числі рудні) його характеристики. Продемонстровано роль та можливості технології цифрового структурно-літологічного моделювання, що забезпечує інформаційну основу для детальної розвідки та експлуатації родовища, а також їх прогнозування.

Ключові слова: розсипи, каситерит, рідкіснометалеве зруденіння, структурно-літологічне моделювання.

Введение

Актуальность работы определяется необходимостью развития минерально-сырьевой базы редкометалльных руд с целью обеспечения высокотехнологических отраслей промышленности Украины. Это, в свою очередь, связано с перспективой комплексной разработки месторождений кристаллического фундамента с корами выветривания и осадочного чехла (т.е. россыпей), что существенно повышает рентабельность их освоения. Пержанское касситерит-колумбитовое месторождение, как намеченный

объект, идентифицируется как экзогенное, охватывая кору выветривания кристаллического фундамента Украинского щита (УЩ) и образования осадочного чехла. Таким образом, это месторождение представляет собой типовой полигон для отработки методических подходов и технических решений по двум аспектам обращения с такими объектами: комплексной разработки, а также зонального и локального прогнозирования на перспективных площадях.

Целью данной работы является представление современной трактовки геологи-

ческого строения Пержанского касситерит-колумбитового месторождения на основе обобщения данных геологоразведочных работ, имеющих интерпретационных материалов, а также результатов авторского цифрового структурно-литологического моделирования для обозначения целесообразности и направления его дальнейшего изучения и отработки методологии и методов прогнозирования месторождения данного геолого-генетического типа.

В связи с этой целью выполнены следующие задачи:

- Систематизированное обобщение имеющихся фактографических данных.

- Аналитическое синтезирование имеющихся геологических, стратиграфических, металлогенических, палеогеографических интерпретаций, разработка соответствующих авторских концепций и представление авторской аналоговой геолого-генетической модели месторождения.

- Разработка цифровой структурно-литологической модели (ЦСЛМ) объекта с отображением структурных и вещественных (в том числе рудных) характеристик.

- Выработка методологии и методики оценки и прогнозирования месторождений данного типа.

В качестве фактографической основы использованы данные геологоразведочных работ, начатых еще в 1953-1960 гг. (С.И. Гурвич, В.Ф. Лунько, Н.И. Рубан и др.) и продолженных в ходе изучения Пержанского месторождения бериллия, открытого в 1961 г. Л.С. Галецким и В.Ф. Лунько (материалы Житомирской ГРЭ), а также более поздние материалы той же экспедиции (2002 г. и др.) и, наконец, результаты минералого-петрографических и геохимических исследований, выполненных в КТЭ треста «Киевгеология» и отделе геологии полезных ископаемых Института геологических наук (ИГН) НАН Украины (Л.С. Галецкий).

Работа выполнена в рамках госбюджетных тем ИГН НАН Украины «Металогенія України», «Визначення та геолого-економічне обґрунтування пріоритетних родовищ рідкісних металів та рідкісноземельних елементів Українського щита для їх першочергового освоєння» і «Розробка цифрових структурно-літологічних моделей осадових

формацій» при финансовой поддержке Российско-Украинского фонда фундаментальных исследований «Цифровое структурно-литологическое и геолого-динамическое моделирование россыпных месторождений тяжелых минералов» (2012-2013 гг.).

Авторы выражают благодарность заведующему отдела палеонтологии и стратиграфии кайнозоя д-ру геол.-минерал. наук В.Ю. Зосимовичу за консультации по вопросам стратиграфии и палеогеографии палеогена УЩ.

1. Обзор изученности, методология и методы

Изученность месторождения. Первые сведения о касситерит-колумбитовых россыпях Пержанской площади появились в 1953-1960 гг. в трудах С.И. Гурвича, В.Ф. Лунько, М.И. Рубана и др. Целевое изучение россыпей сопряжено с прогнозированием и выявлением Пержанского месторождения бериллия (Л.С. Галецкий, В.Ф. Лунько, 1961). Первичные геологические представления были получены по данным поискового бурения. Последующие характеристики приведены по геолого-поисковым и поисково-разведочным работам, результаты которых отражены в отчетах Житомирской экспедиции 70-х годов XX ст. (Р.А. Слыш, 1970; В.И. Язвинский, 1973) и 2002 г. Было установлено, что оловянно-редкометалльное оруденение имеет унаследованный характер, проходя от кор выветривания до осадочного чехла. Были определены основные геолого-промышленные параметры месторождения и даже проведен подсчет запасов. По содержаниям олова, тантала и ниобия, а также по предварительному подсчету запасов олова с точки зрения требований начала 2000-х годов месторождение квалифицировалось как не представляющее практический интерес [Гурський та ін., 2005 и др.]. По результатам геолого-экономической оценки комплексного освоения Пержанского рудного поля сделан вывод о целесообразности освоения россыпных месторождений единым ГОКом (Б.Л. Высоцкий, 2002).

В связи с возросшим спросом промышленности на олово в настоящее время проявляется интерес к освоению этих

россыпей. В опубликованной литературе пержанские россыпи наиболее полно описаны в работах Л.С. Галецкого (1968–2011), С.В. Нечаева и Д.С. Гурского (Металлические полезные ископаемые, 2005) и др.

Методология и методы. В основу выполнения работы положены обобщение и авторизованная интерпретация первичных фактографических данных (описаний керн, минералогических, петрографических и геохимических определений), а также стратиграфических, палеогеографических и металлогенических представлений с позиций формационного анализа, палеофациального анализа и современных стратиграфических, палеотектонических, палеогеографических и металлогенических построений.

Цифровое структурно-литологическое моделирование, как наиболее технологичный инструмент отображения структурных и вещественных (в том числе рудных) характеристик геологических объектов, осуществляется на основе методологических принципов и методических приемов, представлено в ряде публикаций авторов данной работы [Хрущев, Лобасов, 2006; Хрущев и др., 2010 и др.] с модифицированием применительно к металлогенической специализации, формационным, фациальным и другим особенностям объекта.

2. Современная трактовка геологического строения месторождения

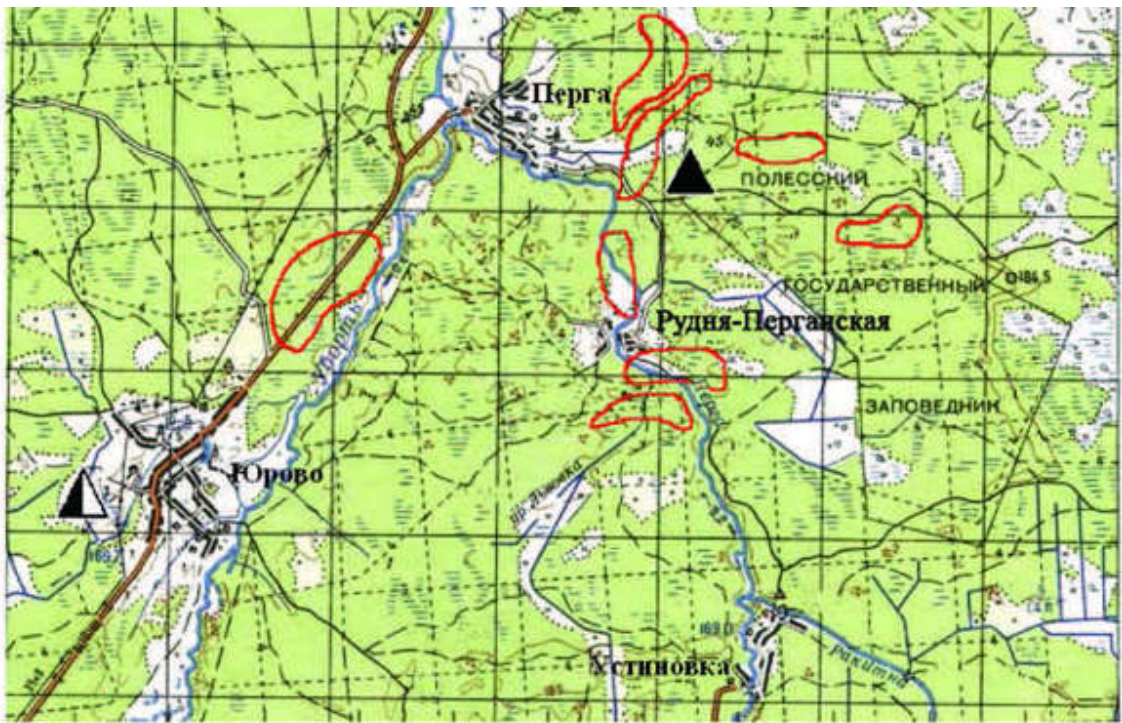
2.1. Тектоническая позиция, структурная, литостратиграфическая и металлогеническая характеристики

В административном отношении Пержанская группа редкометалльных месторождений, включающая касситерит-колумбитовые россыпи, находится в Олевском районе Житомирской области, в 2 км к юго-востоку от с. Перга. С тектонической точки зрения площадь месторождения расположена в северо-западной части УЩ, в пределах Волынского блока и относится к Суцанско-Пержанской тектонической зоне. Здесь выделяется Пержанский тектонический «узел», представляющий собой пересечение ортогональных и диагональных разломов. В то же время Суцанско-Пержанская зона находится на границе «толстой» и «тонкой» земной коры, что определяет

здесь участие образований как корового, так и мантийного происхождения (калишпа-товых метасоматитов, грейзенов, вторичных кварцитов, в том числе и дистеновых, рассланцованных и гнейсовых пород, метасоматически измененных пержанских гранитов и интрузивов основного состава [Бобров та ін., 2006]). Такой петрологический состав определил металлогеническую специализацию этого «узла»: Be, Li, TR, Sn, Zr, Ta, Nb, Zn, Mn, Ag и др. Пержанское месторождение бериллиевых руд локализуется в крупном блоке гранитов пержанского комплекса, включающего формации щелочных метасоматитов и субщелочных гранитов, апогранитов, изотопный возраст которых определяется в 1760–1730 млн лет [В.М. Скобелев, 1987]. В пределах площади этого блока сосредоточены и редкометалльные россыпи, частично выходящие за её контуры на северном, южном и западном флангах. Пержанское россыпное колумбит-касситеритовое месторождение охватывает восемь разобщенных россыпных тел, которые по современному геоморфологическому плану размещаются в бассейне нижнего течения р. Перга, в границах правой надпойменной террасы и пойменной части долины [Романюк, 2010 и др.]. Как видно на схематическом плане Пержанского рудного района (рис. 1), россыпи локализируются в пределах ареала развития рудоносных тел (месторождений, рудопроявлений) кристаллического фундамента с покрывающими их корами выветривания, что при ряде других признаков позволяет относить их к числу россыпей ближнего сноса.

В то же время в пространственном отношении оруденение россыпей (составляющих осадочный чехол) сопряжено с таковым в подстилающих корях выветривания, т.е. с точки зрения геологии рудных месторождений оба эти формационно различные подразделения могут объединяться в единый объект, как месторождение, на основании факта общей рудно-вещественной специализации Пержанского тектонического «узла» (см. выше).

Сводный литостратиграфический разрез образований, перекрывающих породы кристаллического фундамента, включает коры выветривания и осадочный чехол.






-  Юрьевское месторождение апатит-ильменитовых руд
-  Пержанское месторождение бериллиевых руд
-  контуры россыпей

Рис. 1. Обзорная карта расположения россыпей и других рудных месторождений Пержанского рудного района

Fig. 1. General map of Purga ore areal placers and other deposits location

Коры выветривания площадного типа, развитые по грейзенизованным и калишпатизованным породам, распространены ограничено на водораздельных участках. Коры выветривания на данной территории имеют мезозой-кайнозойский возраст (А.П. Глухов, 2008).

Осадочный чехол площади характеризуется следующим разрезом. В его основании локально встречаются переотложенные каолины, возраст которых не определялся; верхняя возрастная граница этого слоя предположительно может устанавливаться не моложе возраста непосредственно перекрывающих осадочных пород (см. ниже).

На литостратиграфическом уровне выше слоя переотложенных каолинов в контурах площади установлен в локальном развитии (вследствие размыва палеогеновыми трансгрессиями) маломощный (0,5–1,5 м, иногда больше) горизонт терригенных пород –

серых и светло-серых гравелистых песков с галькой кварца и обломками кристаллических, в нижней части каолинистых пород. Высказано предположение о мезозойском возрасте горизонта с верхней возрастной границей – начало палеогена [Романюк, 2010], основанное на внешнем литологическом сходстве с «продуктивными» континентальными отложениями позднеюрского–раннемелового возраста бассейнов рек Уж и Ирша. Происхождение пород горизонта – аллювиально-делювиальное.

Выше по разрезу залегают глинисто-песчаные сероцветные отложения, относимые большинством авторов к палеогену. Согласно А.П. Глухову (2008), пески, залегающие в основании разреза (нижний горизонт, по Л.С. Романюк), принадлежат к бучакскому региоярсу. Это кварцевые, иногда с примесью мелких зерен полевого шпата и чешуек слюды пески, серые,

темно-серые, разнозернистые, преимущественно мелкозернистые с прослоями грубозернистых, обломками кристаллических пород и кварца. В разрезах также встречаются глины монтмориллонитового состава, темно-серые, вязкие, местами углистые. По генезису эти отложения относятся к континентальным аллювиальным и озерно-болотным фациям. Именно они являются продуктивными.

Верхний горизонт сложен серовато-зелеными глауконитсодержащими суглинками и супесями, в основном безрудными. Ранее эти отложения описывались как харьковская серия (нерасчлененная). В настоящее время в пределах исследуемого района выделены ареалы распространения отложений, относимых к межигорскому региону (А.П. Глухов, 2008). По генезису они относятся к прибрежно-морским фациям регрессирующего бассейна.

Мощность «продуктивного слоя» оценивается от 2 до 2,8 м [Романюк, 2010]. Разрез осадочного чехла венчается четвертичными отложениями таких фациальных типов: флювиогляциального (среднезернистые светло-серые пески), аллювиально-делювиального (также существенно песчаные осадки серовато-белой окраски) и элювиально-делювиального (пески, суглинки, супеси, приуроченные к подножьям выходов кристаллических пород).

2.2. Геоморфологическая схема

Коры выветривания образуют останцы плащеобразных первоначальных покровов, ограниченные эрозионными формами мезозойского и более позднего времени.

Вышележащие толщи предположительно мезозойского и палеогенового литостатиграфических подразделений с геоморфологической точки зрения приурочены к различным элементам палеодолин (по некоторым авторам – «долинообразным понижениям»), мезозойского заложения – ответвлениям более низкого порядка, балок и т. д.

Преобладающее направление этих форм – северо-западное, подчиненное – юго-западное и др. На площади развития россыпей ширина их изменяется от 40-50 до 250-300 м, протяженность прослежена на 1,5-2,5 км. Уклон днищ ориентирован преимущественно

в юго-западном направлении и составляет 0,004-0,005. Крутизна склонов палеодолин изменяется от 0,08 до 0,2.

Отложения горизонта предположительно мезозойского возраста сохраняются в основном локально в днищах долинных форм, занимая наиболее ограниченные по площади структурные элементы осадочного чехла.

Образования палеогеновой системы выполняют долинные формы до определенных уровней осадконакопления и эрозии (залегают на абсолютных отметках от +150 до +165 м).

Четвертичные отложения образуют в целом почти сплошной покров. Флювиогляциальные отложения приурочены в основном к водоразделам, аллювиально-делювиальные – проявляются в долинах современной гидросети, формируя I-II террасы, склоновые и пойменные образования различных микрофаций.

Рельеф подошвы осадочного чехла в целом в определенной мере также является унаследованным от структурной поверхности кристаллического фундамента с отражением эрозионной деятельности и неотектонических процессов.

2.3. Металлогеническая характеристика

Выделяются два минерально-генетических типа оловосодержащих образований: колумбит-касситеритовый в собственно россыпных и касситерит-колумбитовый в корях выветривания [Гурский та ін., 2005]. Оба типа находятся в поле выветривания коренных оловоносных массивов и тел, с различной мерой пространственно-генетической связи с ними. В плане установлено восемь пространственно сближенных россыпей с запасами по категории С₁ и С₂ около 700 т при средней мощности пласта 2,1 м, «торфов» – 6,4 м. Запасы полезных минералов в «рудном пласте россыпей» оцениваются (т): касситерита – 549,1; колумбита – 45,3; циркона – 168,2. Среднее содержание в «песках» (г/м³): касситерита – 347; колумбита – 38; циркона – 100. В отдельных пробах содержание их соответственно достигает (г/м³): 1000-350, 428-505 и 500. В незначительном количестве отмечены рутил, вольфрамит, монацит, бастнезит,

ксенотим, пирит, марказит, сфалерит, га-ленит, гранаты и др.

Приводятся минералогические описания касситерита, колумбита и других рудных минералов россыпей [Романюк 2010 и др.], свидетельствующие о соответствии типоморфным особенностям этих минералов обоих минерально-генетических типов – собственно россыпного и элювиального.

Генетические концепции существующих публикаций сводятся в основном к общей характеристике палеогеографических и палеогеоморфологических условий россыпеобразования.

3. Цифровая структурно-литологическая модель

3.1. Фактографическая основа модели

Фактографической основой ЦСЛМ являются разрезы 211 скважин, пробуренных по сетке 200×20 и 100×20 м. Для компьютерной обработки при построении ЦСЛМ подготавливались матрицы в табличной форме, содержащие расчленение разрезов скважин по абсолютным отметкам поверхностей разделов структурно-вещественных элементов различных иерархических рангов. В качестве таких элементов (объектов расчленения) установлены: 1 – формационные этажи; 2 – литофации; 3 – градации содержания рудного материала (касситерита).

Рассмотрим их последовательно.

В разрезе объекта установлено пять структурно-формационных этажей, нижний из которых – кристаллический фундамент – в моделирование не вовлекался, учитывая в общих металлогенических построениях как первичный источник россыпеобразующего материала (РОМ). В моделирование включены четыре этажа: кора выветривания, этажи осадочного чехла; мезозойские (предположительно позднеюрского-раннемелового возраста) и палеогеновые образования; четвертичные отложения.

Выделение этих структурно-формационных этажей обусловлено тем, что они отражают различные структурные планы, характеризующие принципиально отличающиеся фациальные, гидродинамические, литодинамические и иные условия, определяющие как вещественный состав и интенсивность, так и характер распределения

рудного материала. Выделено восемь литофациальных типов и градаций содержания касситерита.

Описание цифровой структурно-литологической модели. Получены производные ЦСЛМ двух направлений: структурного и вещественного.

Ниже комментируются производные структурного моделирования. Карта подошвы осадочного чехла (т.е. поверхности коры выветривания и кристаллического фундамента) отображает в основном рельеф пенеплена, установившийся к послетриасовому времени, с фрагментами палеодолин мезозойского заложения (рис. 2).

Карта гипсометрии подошвы антропогена демонстрирует несовпадение структурных планов послетриасового и начала четвертичного времени. В северной половине моделируемой площади и в крайней южной ее части наблюдаются зоны контрастирующих депрессионных и приподнятых участков, характеризующие системы взаимодействия локальных эрозионных и аккумулятивных процессов.

Карта мощностей четвертичных отложений показывает некоторую коррелятивность с гипсометрическими характеристиками предчетвертичной поверхности. Карта мощности палеогеновых отложений демонстрирует невысокую корреляционную зависимость с рельефом подошвы осадочного чехла, что указывает на существенную роль конседиментационных изменений рельефа седиментационного бассейна.

Особенности структуры осадочного чехла площади иллюстрируются также сериями производных профилей различного содержания.

Производные вещественного направления отображают литофациальные и рудные характеристики объекта, представлены сериями карт и профилей.

Литофациальные характеристики россыпи приводятся главным образом по рудовмещающей толще (в соответствии с наличием описаний керна). Эти характеристики иллюстрируются тремя группами производных модели: плановыми отображениями, профилями и расчетами корреляционных зависимостей.

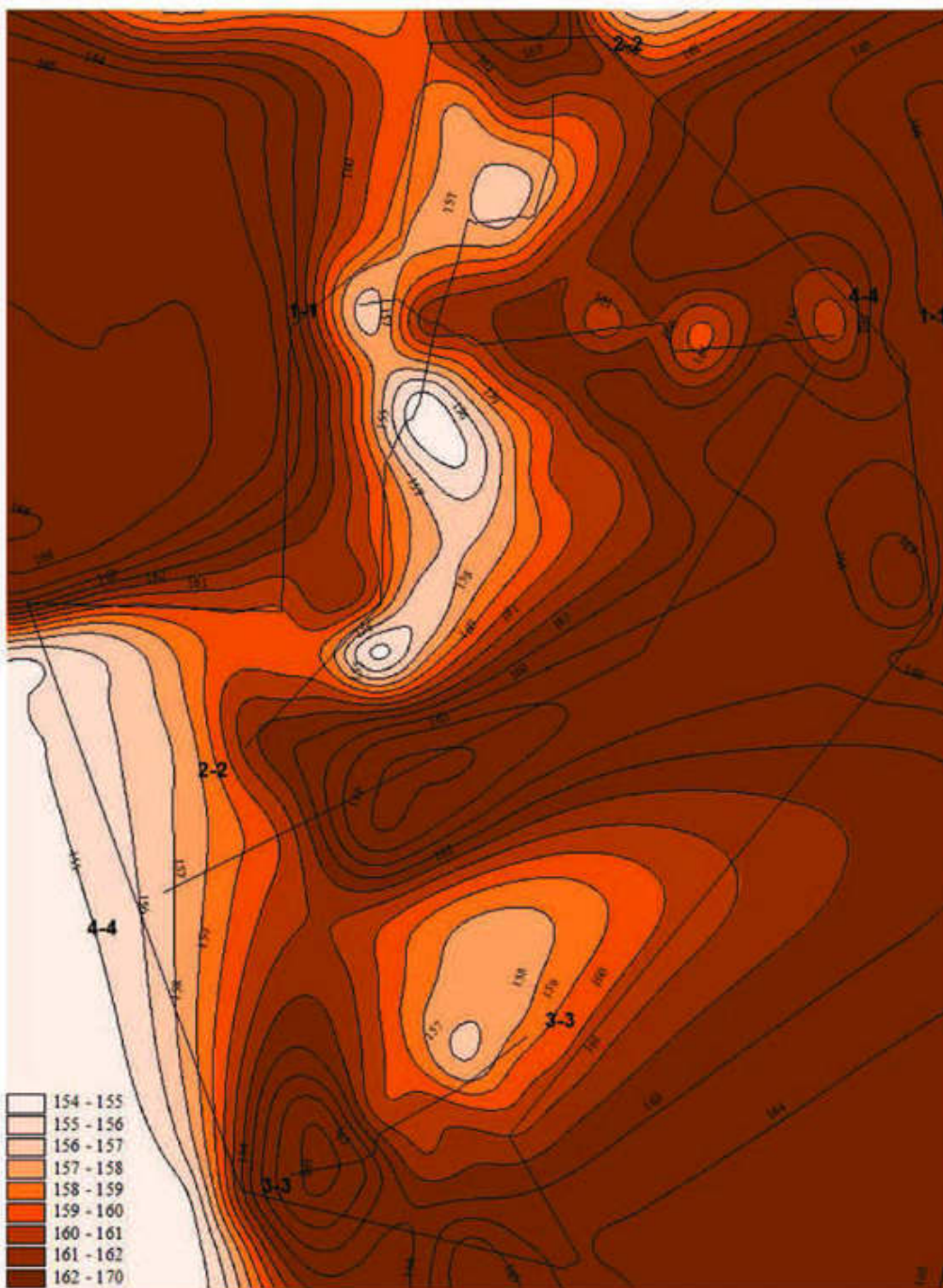


Рис. 2. Карта гипсометрии поверхности коры выветривания

Fig. 2. The map of gypsometry for crust of weathering surface

Образования кор выветривания в данной версии модели не расчленяются и условно представлены как толща каолинов.

В основании разреза осадочного чехла локально прослеживаются маломощные отложения мезозойского структурного этажа (в легенде обозначены как терригенные псефитово-псаммитового состава), кото-

рые устанавливаются в депрессионных участках коры выветривания, т.е. домезозойского рельефа – в южной части площади (профиль 3-3) и северо-западной ее части (профиль 1-1).

Палеогеновая часть разреза в целом представлена преимущественно мелкозернистыми песками с подчиненными пластами

и линзами (по убывающей роли): песков крупнозернистых, среднезернистых, переложенных каолинов и глин. На картографических производных отображаются основные закономерности распределения литофаций в разрезе и по площади.

Характеристика оруденения иллюстрируется пятью группами производных модели: 1) картами мощности рудных тел и распределения касситерита (в корях выветривания и дочетвертичных отложениях осадочного чехла); 2) профилями распределения содержаний касситерита в выделенной рудной толще (по грациям усредненных средневзвешенных содержаний); 3) расчетами распределений касситерита по литофациям; 4) расчетами корреляционной зависимости содержаний касситерита от рельефа подошвы осадочного чехла и мощности рудных тел в палеогене и корях выветривания; 5) приближенного подсчета запасов (ресурсов) по тем же двум структурным этапам (палеогеновому и корам выветривания) в пределах всей россыпи.

Рассмотрение касситеритового оруденения как единого рудного тела, включающего две формационные части – коры выветривания и образования осадочного чехла, иллюстрируется картой мощностей. Согласно этой карте оруденение образует почти сплошное горизонтальное тело мощностью от 1-2 до 8-10 м (измерения приводятся соответственно по профилям и по карте, первые предоставляют более достоверные данные). Поле максимальной мощности (до 10 м) находится в южной части моделируемого полигона, второе поле (8-10 м) – в центральной части и третье (до 8 м) – на северо-востоке (рис. 3, а).

Карта мощностей рудного тела в палеогеновой части разреза существенно коррелируется с предыдущей картой.

Мощность рудного тела в коре выветривания является вскрытой и представлена на профилях; визуализация в плановых отображениях сочтена за неинформативную и не демонстрируется.

Пространственное распределение рудного материала рассматривается в двух аспектах – площадном и по разрезу.

Площадное распределение касситерита представлено тремя объектными картами:

объединенной (по всей рудной толще), по корам выветривания и по дочетвертичной части осадочного чехла (в легенде обозначенной как палеоген).

Карта, объединяющая оруденения кор выветривания и дочетвертичной части осадочного чехла, по сути, отражает наличие двух совершенно разноплановых типов распределения рудного материала, при котором зоны максимальных содержаний (совмещенных) имеют незакономерный характер.

Карты распределения в корях выветривания и дочетвертичной части осадочного чехла представляют разноплановые типы распределения (см. выше).

Карта распределения рудного материала в корях выветривания показывает четыре вытянутые зоны повышенных содержаний: вдоль западной, северо-западной, восточной и юго-восточной границ моделируемого полигона, а также зона в центральной части северной его половины (рис. 4, а). Последняя зона, а также северный сектор западной зоны включают пятна максимальных содержаний ($>500 \text{ г/м}^3$).

Карта распределения рудного материала в отложениях дочетвертичной части осадочного чехла демонстрирует наличие двух протяженных зон максимальных концентраций ($>500 \text{ г/м}^3$) вдоль западной и северо-восточной границ полигона и мелкой субконцентрической зоны вблизи южной границы, а также нескольких зон повышения концентраций (300-500 г/м^3) в центральной, северной, южной частях и вдоль юго-восточной границы (рис. 4, б). Приводится также современная карта контуров рудных тел кор выветривания и дочетвертичной части осадочного чехла с содержанием касситерита более 392 г/м^3 .

Распределение рудного материала по разрезу прослежено по профилям (рис. 3, б). С морфологической точки зрения в пределах «продуктивного горизонта», т.е. общего рудного тела, рудные тела подчиненных рангов, устанавливаемые по приведенным выше грациям, образуют линзовидные пласты и линзы различной конфигурации и протяженности.

Распределение рудного материала по литофациям характеризуется расчетными статическими зависимостями (здесь не

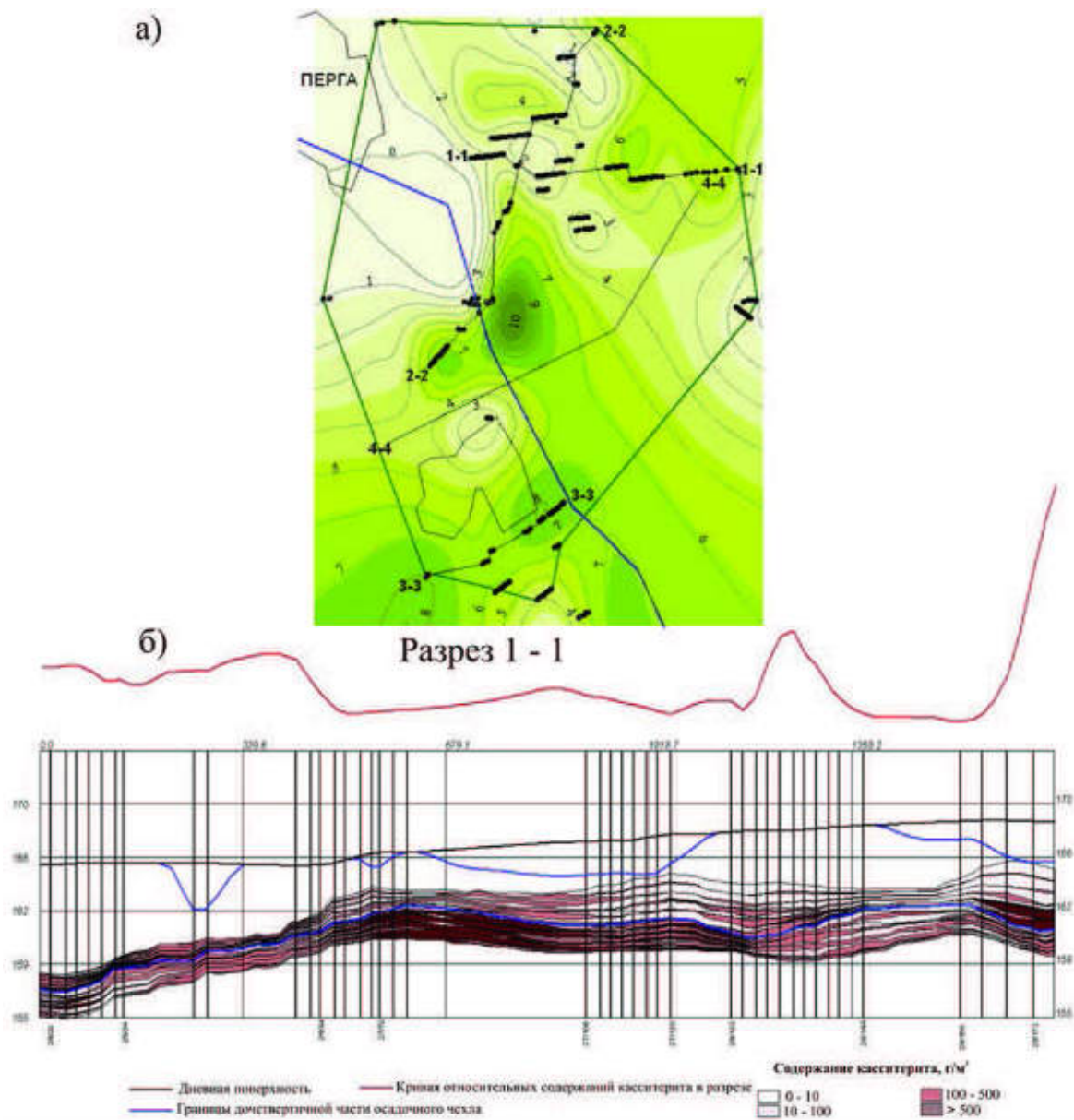


Рис. 3. Характеристики рудного тела: а – карта мощности рудного тела; б – распределение касситерита ($\text{г}/\text{м}^3$) в дочетвертичной части осадочного чехла (профиль 1 – 1)

Fig. 3. Characteristics of the ore body: а – the maps of the ore body thickness; б – distribution of cassiterite (g/m^3) in prequaternary part of sedimentary cover (section 1 – 1)

приводятся); максимальные содержания приурочены к мелкозернистым пескам, в меньшей мере – крупнозернистым. Сравнительно высокие содержания отмечаются для вторичных каолинов, что поясняется фактором очередности унаследования.

Зависимость распределения рудного материала от рельефа подошвы осадочного чехла проявляется достаточно четко и имеет обратный характер для дочетвертич-

ной части осадочного чехла и кор выветривания. Повышенные средние концентрации в породах осадочного чехла явно приурочены к депрессионным участкам поверхности кор выветривания (седиментационным ловушкам), для кор выветривания отмечается обратная зависимость – связь с положительными формами этого же рельефа. Последняя объясняется лучшей сохранностью кор на этих участках.

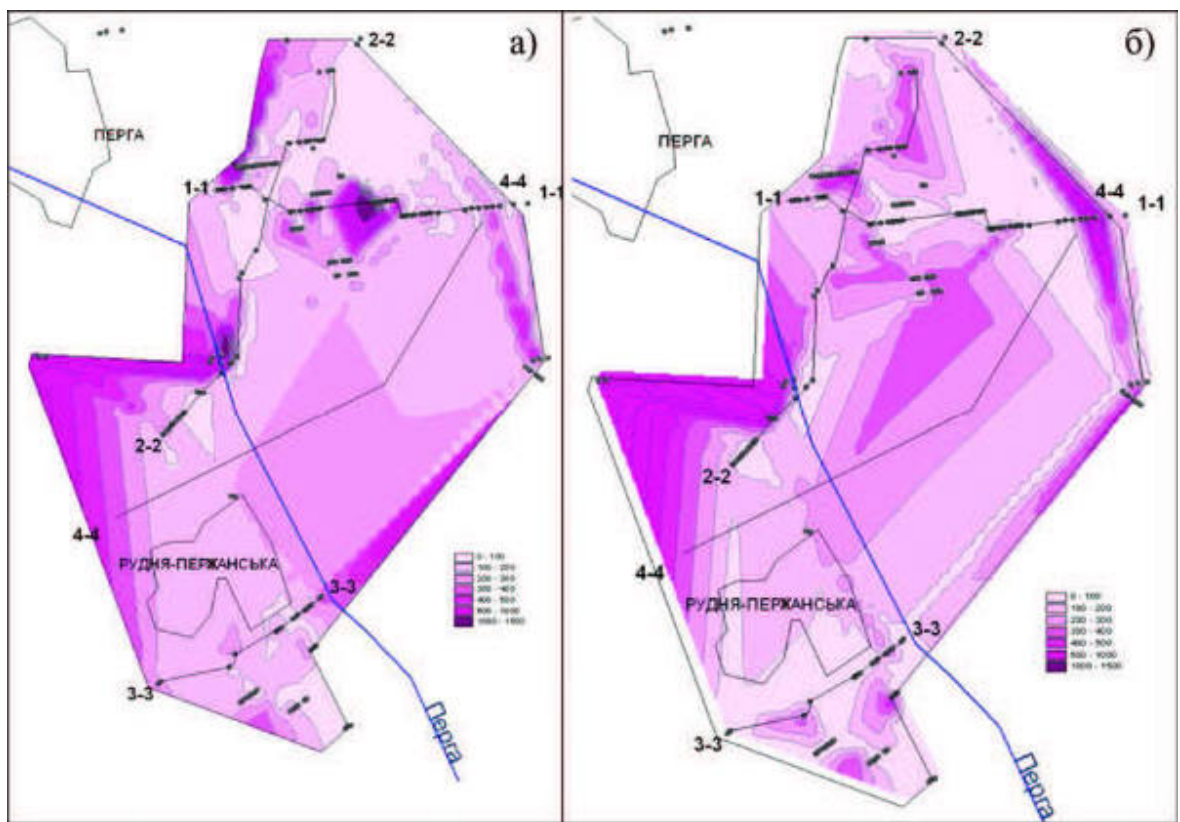


Рис. 4. Карты распределения средневзвешенных содержаний касситерита ($\text{г}/\text{м}^3$): а – в коре выветривания, б – в дочетвертичных образованиях осадочного чехла

Fig. 4. The map of average cassiterite contents (g/m^3): а – in crust of weathering, б – in prequarternary rocks of sedimentary cover

Антагонизм схем распределения рудного материала подчеркивается также графиками распределения касситерита в профилях.

Корреляционный анализ, проведенный по трем группам структурных и рудных параметров объекта: рельеф поверхности коры выветривания, мощность рудного тела и средневзвешенного на мощность интервала содержания касситерита (для кор выветривания и дочетвертичной части осадочного чехла), показывает следующее. Мощность дочетвертичной части осадочного чехла характеризуется отрицательной корреляционной связью с повышением поверхности кор выветривания ($r = -0,18$). Как правило, повышенные участки подвергались эрозии и материал сносился с поднятий в депрессии. В то же время мощность рудной толщи в коре выветривания находится в прямой зависимости от повышений поверхности кор вы-

ветривания ($r = 0,2$). Это означает, что раздувы мощностей рудного тела в указанной части осадочного чехла связаны с депрессионными участками рельефа, а в самих корах выветривания – с выступами в рельефе.

В связях «содержание касситерита – уровень поверхности кор выветривания» коэффициенты корреляции для рудных тел обеих частей рудного тела составляют $-1,868$ для кор выветривания и $0,14$ для дочетвертичных образований осадочного чехла. Отрицательная корреляция показывает, что на выступах понижается содержание касситерита, что может быть объяснено вымыванием частиц касситерита подземными водами трещиноватой зоны на склоны.

Таким образом, наиболее богатые руды и максимальные запасы сосредоточены в корах выветривания на выступах их рельефа, а в осадочной части рудного тела – в депрессионных зонах.

Сделан автоматический подсчет запасов касситерита по трем градациям содержаний; полученные результаты превышают значения запасов, подсчитанных традиционным методом. Абсолютные величины запасов в корах выветривания и дочетвертичных отложений рудного тела весьма близки, при незначительном (20-22%) превышении в корах, что находится в пределах геологической погрешности.

Получена карта площадного распределения общих удельных запасов по рудному телу в пределах моделируемого полигона (рис. 5). Выделяются четыре зоны максимальных (градации выше 1200 г/м³) удельных запасов: одна протяженная вдоль северо-восточной границы полигона и три субконцентрической форм у западной, северо-западной границ и в центре северного сектора полигона.

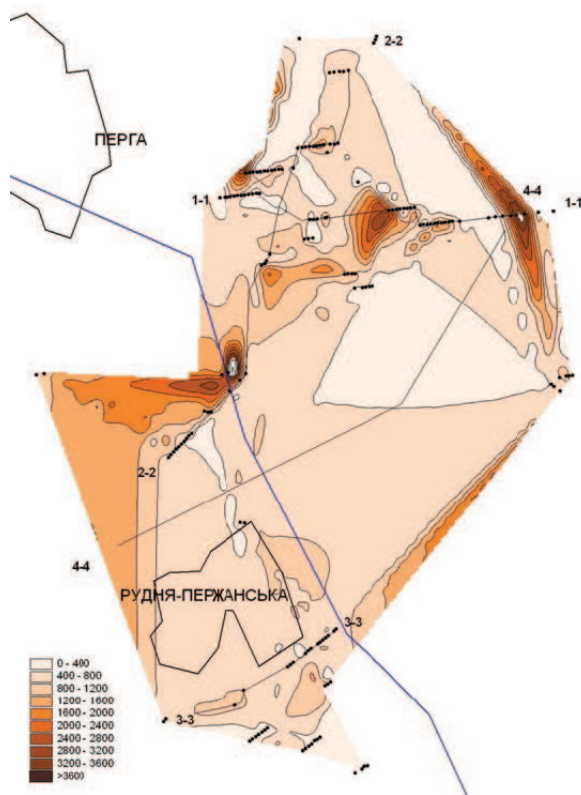


Рис. 5. Карта общих удельных запасов касситерита (г/м²)
Fig. 5. The map of cassiterite total specific resources (g/m²)

Имеются, кроме того, карты удельных запасов по корам выветривания и дочетвертичным отложениям с отображением распределения тех же градаций.

4. Условия образования россыпей

Первичной средой экзогенного обогащения рудным материалом служили коры выветривания оловоносных пород кристаллического фундамента – гранитов, метасоматитов, грейзенов Пержанского рудного узла. В ходе формирования кор выветривания происходила переработка материала металлоносных пород с первичным обогащением устойчивых в гипергенных условиях рудных минералов, в том числе касситерита, колумбита, циркона и др. На этом этапе уже совершается начальная стратификация оруденения, заключающаяся в концентрации рудного материала в верхних горизонтах кор выветривания, которые подвергались максимальной гипергенной переработке. Именно этим объясняется приуроченность интенсивного оруденения к выступам рельефа кор выветривания. В дальнейшем эти коры подвергались эрозионному размыву.

Этап осадочной переработки РОМ кор выветривания начался с середины мезозоя. Он обозначался развитием эрозии кор выветривания (позднеюрское-раннемеловое время). На этом этапе в условиях континентального режима отлагались терригенные осадки, которые формировались вследствие размыва металлоносных кор выветривания как россыпеобразующих формаций и, очевидно, были существенно рудоносными: останцы мезозойских пород в днищах палеодолин характеризуются как «наиболее обогащенные касситеритом и другими редкометалльными минералами ... с содержаниями касситерита от 600 до 1000 г/м³» [Романюк, 2010, с. 340]. Однако рудный потенциал этих образований охарактеризован недостаточно. Указанные типы пород

псефито-псаммитового состава («гравелито-щебнистые пески») характеризуют высокодинамичные водные потоки, т.е. деятельность молодых рек начала седиментационного тектонического цикла.

С начала палеогена после стратиграфического перерыва началась последующая стадия седиментационно-тектонической эволюции, выразившаяся в образовании горизонта (по Л.С. Романюк – «нижнего слоя») разнозернистых светлоокрашенных песков, который по литологическим признакам может коррелироваться с отложениями бучакского надрегиояруса (и одноименной свиты), генетически диагностируемыми как континентальные. Согласно Л.С. Романюк, этот горизонт идентифицируется как «продуктивный». Образование горизонта происходило в границах денудационно-аккумулятивной равнины с умеренно расчлененным рельефом, постепенно трансформировавшейся в низменную аллювиально-болотную равнину. Водные потоки характеризовались умеренными гидродинамическими параметрами. Такие параметры были благоприятными для осаждения тяжелых минералов [Лаверов и др., 2014], что и определило образование залежей в аллювиальной макрофации.

Наиболее интенсивное осаждение рудного материала происходило в пределах палеодолин, которые соответствовали депрессионным участкам кор выветривания, причем максимальная локализация тяжелых минералов происходила по склоновым частям палеодолин, т.е. в их пойменных микрофациях. Источником сноса РОМ были выступы рельефа подошвы осадочного чехла, сложенные металлоносными корами выветривания.

Последующий этап эволюции седиментационного бассейна, в течение которого образовался так называемый верхний горизонт («слой»), характеризовался прибрежно-морскими условиями. Об этом свидетельствуют минеральный состав россыпей, сочетания литонаборов и их морфология, устанавливаемые по литофациальным производным ЦСЛМ, а также данные современных палеогеографических построений (Ю.А. Кошик, В.М. Тимофеев, 1980) [Ремезова, 1997]. Таким образом, эта часть разреза образо-

валась в условиях морской абразионно-аккумулятивной равнины со слабым расчленением рельефа.

Осаждение рудного материала на этом этапе эволюции бассейна происходило в соответствии с общепринятыми схемами морского россыпеобразования [Лаверов и др., 2014]. В условиях трансгрессии морского бассейна ранее отложенные россыпи частично перемывались, а при отступлении моря они были погребены под толщей прибрежно-морских осадков. Могут рассматриваться два преобладающих источника сноса РОМ: выступы металлоносных кор выветривания и промежуточные коллекторы, т.е. рудоносные отложения подстилающего «нижнего слоя» (отложений предположительно бучакского возраста).

Процесс стратиграфически сквозного россыпеобразования происходил и в четвертичное время за счет переработки главным образом палеогеновых рудоносных толщ, однако масштаб оруденения незначителен.

Заключение

В представленной публикации дана современная трактовка геологического строения, рудных характеристик и условий образования Пержанского касситерит-колумбитового месторождения на основе пересмотра традиционных представлений с учетом новейших стратиграфических, палеогеографических и литологических данных. Полученные результаты представляют собой новый подход для исследования и оценки объектов данного типа, а также прогнозирования залежей в перспективных формациях кристаллического фундамента, их корях выветривания и осадочного чехла.

Продемонстрирована роль и возможности технологии цифрового структурно-литологического моделирования, обеспечивающей не только аналитико-информационную основу для разведки и эксплуатации россыпных месторождений, но и их прогнозирования, а также прогнозирования месторождений в россыпеобразующих формациях, и, наконец, для решения теоретических вопросов функционирования вещественно-динамической системы «коренной источник – коры выветривания – промежуточные коллекторы – россыпь».

Список литературы / References

1. Атлас палеогеографічних карт Української і Молдавської РСР (з елементами літофацій) М-1:2 500 000: відп. ред. акад. АН УРСР В.Г. Бондарчук та ін. – Київ: Вид-во АН УРСР, 1960. – 82 с.
An Atlas of paleogeographical maps of the Ukrainian and Moldavian SSR (with elements of lithofacies). Scale 1:2 500 000. (Editor-in-Chief Academician V.G. Bondarchuk). Kyiv: Vydavnytstvo AN USSR, 1960, 82 p. (in Ukrainian).
2. Бобров О.Б. Формацийний аналіз нижньо-докембрійських комплексів Українського щита при проведенні геологозйомочних робіт (теоретико-практичні аспекти) / Бобров О.Б., Лисак А.М., Свешніков К.І. та ін. – Київ: УкрДГРІ, 2006. – 164 с.
Bobrov O.B., Lusak A.M., Sveshnikov K.I., Sivoronov A.O., Paranko I.S., 2006. The formation analysis of the low Pre-Cambrian complexes of the Ukrainian shield on the conducting of the geological surveying works (theoretical and practical aspects). Kyiv, 164 p. (in Ukrainian).
3. Галецкий Л.С. Комплексная оценка и освоение Пержанского месторождения редких металлов / Галецкий Л.С., Романюк Л.С. // Экологична безпека техногенно-перевантажених регіонів та раціональне використання надр: наук.-практ. конф. 4-8 черв. 2007 р., Коктебель, АР Крим. – Київ: НПЦ «Екологія Наука Техніка», 2007. – С. 66-68.
Galetskiy L.S., Romanyuk L.S., 2007. The complex estimation and development of the Perha rare metal deposit. Ecological safety of technogenic-loaded regions and rational usage of the Earth's bowels. Scientific-practical conference (June 4-8, 2007, Koktebel, AR of Crimea). Kyiv: SPC "Ecology. Science. Technics", p.66-68 (in Ukrainian).
4. Гурський Д.С. Металічні та неметалічні корисні копалини України. Т. 1. Металічні корисні копалини // Д.С. Гурський, К.Ю. Єсипчук, В.І. Калінін та ін. – Київ; Львів: Центр Європи, 2005. – 785 с.
Gursky D.S., Yesypchuk K.Yu., Kalinin V.I., Kulish Ye.O., Nechayev S.V., Tretyakov Yu.I., Shumlyanski V.O., 2005. Mineral deposits of Ukraine. Vol. I. Metalliferous mineral deposits. Kyiv; Lviv: Tsentre Evropy, 785 p. (in Ukrainian).
5. Лаверов Н.П. Цифровое структурно-литологическое геолого-динамическое моделирование месторождений тяжелых минералов / Н.П. Лаверов, П.Ф. Гожик, Д.П. Хрущев и др. – Киев; Москва, 2014. – 236 с.
Laverov N.P., Gozhyk P.F., Khrushchev D.P., Lalotnov A.V., Lobasov O.P., Chijova I.A., Kovalchuk M.S., Remezova O.O., Chefranov R.M., Bochneva A.A., Vasylenko S.P., Kravchenko O.A., Sivalneva T.V., Kroshko Yu.V., 2014. Digital structural-lithological geological-dynamic modelling of the heavy minerals deposits. Kiev; Moscow, 236 p. (in Russian).
6. Ремезова О.О. Історія розвитку рельєфу Овруцького кряжу та його обрамлення в мезозої – кайнозої: автореф. дис. канд. геогр. наук. – Київ, 1997. – 24 с.
Remezova O.O., 1997. The history of the development of the relief of Ovruch ridge and its framing in Mesozoic – Cenozoic. The thesis ... cand. of geographical sciences. Kyiv, 24 p. (in Ukrainian).
7. Романюк Л.С. Особливості формування та мінерального складу Пержанських каситерит-колумбітових розсипів / Л.С. Романюк // Зб. наук. пр. ІГН НАН України. – 2010. – Вип. 3. – С. 338-342.
Romanyuk L.S., 2010. The peculiarities of the formation and mineralogical composition of the Perha cassiterite- columbite placers. Collection of the scientific works of the IGS of NAS of Ukraine. iss. 3, p. 338-342. (in Ukrainian).
8. Скобелев В.М. Петрохимия и геохронология докембрійських образований Северо-Запада Украинского щита / В.М. Скобелев. – Киев: Наук. думка, 1987. – 140 с.
Skobelev V.M., 1987. Petrochemistry and geochronology of the Pre-Cambrian bodies of the North-West of the Ukrainian shield. Kiev: Naukova Dumka, 140 p. (in Russian).
9. Хрущев Д.П. Структурно-литологические модели перспективных осадочных формаций / Д.П. Хрущев, А.П. Лобасов, М.В. Гейченко и др. // Мінер. ресурси України. – 2010. – № 4. – С. 39-44.
Khrushhev D.P., Lobasov A.P., Gejchenko M.V., Kovalchuk M.S., Remezova E.A., Bosevskaya L.P., Kyrpach Yu.V., Stepanyuk A.V., 2010. The structural-lithological model promising sedimentary formatsiy. Mineralni resursy Ukrainy, № 4, p. 39-44. (in Russian).
10. Хрущев Д.П., Лобасов А.П. Принципы разработки цифровых структурно-литологических моделей осадочных формационных подразделений / Д.П. Хрущев, А.П. Лобасов // Геол. журн. – 2006. – № 2-3 (316). – С. 87-99.
Khrushchev D.P., Lobasov A.P., 2006. The principles of the elaboration digital structural-lithological models of the sedimentary formations. Geologichnyy zhurnal, No. 2-3 (316), p. 87-99. (in Russian).

Статья поступила
24.02.2016

ПРО КОНТАКТОВИЙ ВПЛИВ СУБЛУЖНИХ ГАБРОЇДІВ (МАФІТІВ) ПОКРОВО-КИРІЇВСЬКОГО МАСИВУ НА ВМІЩУВАЛЬНІ ГРАНІТИ

С.Г. Кривдік¹, В.О. Гаценко², Є.С. Луньов³

¹ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: kryvdik@ukr.net
Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач відділу.*

² *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: vera.gatsenko@ukr.net
Докторант.*

³ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: lunev_00@ukr.net
Аспірант.*

Покрово-Киріївський масив знаходиться на північно-східній окраїні Приазовського мегаблоку Українського щита, в зоні його зчленування зі складчастою структурою Донбасу. Цей масив складений сублужними габро, піроксенітами, малінітами, нефеліновими сіенітами і різноманітними базальтоїдами. На одному з профілів цього масиву було розбурене доволі потужне (до 35-40 м) тіло змінених гранітів. Зміни відбулися під впливом на гранітне тіло інтрузії сублужних піроксенітів і габро, а також численних дайок сублужних габроїдів. Зміни (перетворення) гранітів проявляються у появі ділянок («плям»), складених дрібнозернистим агрегатом новоутвореного амфіболу (типу Na-актиноліту) та магнетиту, селадоніту та магнетиту, які, очевидно, псевдоморфно заміщують первинні амфіболи (залізисті рогові обманки) та біотити вихідних гранітів. Крім того, відбувається альбітизація плагіоклазу, також в гранітах фіксуються поодинокі зерна чисто андрадитового гранату, новоутвореного апатиту та виділення (гнізда, прожилки) кальциту. Такі екзоконтактові перетворення гранітів відрізняються від термального метаморфізму та ороговикування, а також фенітизації, що супроводжує інтрузивні породи карбонатитових комплексів. Очевидно, сублужний склад інтрузій зумовив такий не зовсім звичний тип екзоконтактових перетворень вміщувальних гранітів.

Ключові слова: змінені граніти, контактний вплив, сублужні габроїди, Покрово-Киріївський масив, Приазовський мегаблок.

THE IMPACT OF THE CONTACT SUBALKALINE GABBROIDS (MAFITES) OF POCROVO-KYRIYV MASSIF IN ALKALINE GRANITES

S.G. Kryvdik¹, V.O. Gatsenko², E.S. Lunev³

¹ *M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: kryvdik@ukr.net
Doctor of geological-mineralogical sciences, professor, chief of department.*

² *M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: vera.gatsenko@ukr.net
Doctorant.*

³ *M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: lunev_00@ukr.net
Post-graduate students.*

© С.Г. Кривдік, В.О. Гаценко, Є.С. Луньов, 2016

Pokrovo-Kyriyv massif is situated on the north-eastern part of the Azov megablock (Ukrainian shield), in its junction Donbass folden structure. This massif is composed of subalkaline gabbro, pyroxenites, malignites, nephelines syenites and various basalts. In the one of the profiles a quite thickness (35-40 m) body of altered granites was drilled. Alterations of this granite body had been caused by influence of subalkaline pyroxenites, gabbro and numerous dikes of subalkaline gabbroids. This alteration (transformation) of this granite is displayed in the appearance of small fields ("spots"), that is composed of fine-grained aggregate of new-formed amphibole (such as Na-actinolite type) and magnetite, celadonite and magnetite, which obviously replace pseudomorphically primary amphiboles (ferric hornblende) and biotite in country granites. In addition, there is albitization of K-feldspar, also as well is single grains of garnet (purely andradite), new formed apatite and crystallization (nest, veins) of calcite. Such exocontact alterations of granite are different from thermal metamorphism and hornfelsing and fenitization that are accompanying intrusive rocks of carbonatite complexes. Obviously subalkaline composition of the intrusions is caused not usual type exocontact alterations of granites.

Key words: the altered granites, the impact of the contact, the subalkaline gabbroids, the Pokrovo-Kyriyv massif, the Azov megablock.

О КОНТАКТОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ СУБЩЕЛОЧНЫХ ГАББРОИДОВ (МАФИТОВ) ПОКРОВО-КИРЕЕВСКОГО МАССИВА НА ВМЕЩАЮЩИЕ ГРАНИТЫ

С.Г. Кривдик¹, В.А. Гаценко², Е.С. Лунев³

¹ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: kryvdik@ukr.net*
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом.

² *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: vera.gatsenko@ukr.net*
Докторант.

³ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: lunev_00@ukr.net*
Аспирант.

Покрово-Киреевский массив находится на северо-восточной окраине Приазовского мегаблока Украинского щита, в зоне его сочленения со складчатой структурой Донбасса. Этот массив сложен субщелочными габбро, пироксенитами, малиньитами, нефелиновыми сиенитами и разнообразными базальтоидами. На одном из профилей этого массива было разбурено довольно мощное тело (до 35-40 м) измененных гранитов. Изменения связаны с воздействием на гранитное тело интрузии субщелочных пироксенитов и габбро, а также многочисленных даек субщелочных габброидов. Изменения (преобразования) гранитов проявляются в появлении участков («пятен»), сложенных мелкозернистым агрегатом новообразованного амфибола (типа Na-актинолита) и магнетита, селадонита и магнетита, которые, очевидно, псевдоморфно замещают первичные амфиболы (железистые роговые обманки) и биотиты исходных гранитов. Кроме того, происходит альбитизация плагиоклаза, также в гранитах фиксируются единичные зерна чисто андрадитового граната, новообразованного апатита и выделения (гнезда, прожилки) кальцита. Такие экзотические преобразования гранитов отличаются от термального метаморфизма и ороговикования, а также фенитизации, которая сопровождается интрузивные породы карбонатитовых комплексов. Очевидно, субщелочной состав интрузий обусловил такой не совсем обычный тип экзоконтактных изменений вмещающих гранитов.

Ключевые слова: измененные граниты, контактное воздействие, субщелочные габброиды, Покрово-Киреевский массив, Приазовский мегаблок.

Вступ

Покрово-Кириївський масив (його називають також структурою) є комфазною інтрузією і складається із сублужних габро, піроксенітів (рідше верлітів), малінітів, нефелінових сієнітів та різноманітних базальтоїдів. У масиві та навколишніх (вміщувальних) гранітоїдах наявні численні дайки різноманітного складу, частіше близького або аналогічного до такого повнокристалічних інтрузивних та ефузивних порід. Проте формаційну належність цього масиву не з'ясовано. В роботах попередніх дослідників цей масив відноситься до так званого лужноультраосновного-лужнобазальтоїдного комплексу [Базит-гіпербазитовий..., 1973] або ж розчленовується на три різних комплекси (Приазовський, Волновасько-Єланчицький та Покрово-Кириївський) [Бутурлинов, 1979]. Разом з тим у цих роботах зовсім мало даних (або, частіше, вони відсутні) про взаємодію інтрузивних порід цього масиву з вміщувальними породами (навколишніми гранітоїдами, які нині належать до так званого хлібодарівського комп-

лексу). Можливо, це пояснюється незначною кількістю свердловин, які розбурювали контакти між інтрузивними та вміщувальними породами, та відсутністю природних відслонень з такими контактами.

В пропонованій статті надаються результати досліджень кернавого матеріалу однієї із свердловин, що розбурила крупний ксеноліт («макроксеноліт») зміненого граніту, який залягає серед сублужних піроксенітів і габро та перетинається численними дайками переважно сублужних габроїдів, рідше ультраосновного та середнього складу (рис. 1). В результаті контактового впливу інтрузивних та дайкових порід цей ксеноліт граніту зазнав специфічних перетворень, які відрізняються від таких, що властиві процесам ороговікування, скарнування або фенітизації (останнє проявилось у випадку належності масиву до лужноультраосновного комплексу). Описані метасоматичні перетворення граніту зумовлені сублужним складом магматичних порід Покрово-Кириївського масиву та пов'язаних з ними флюїдами.

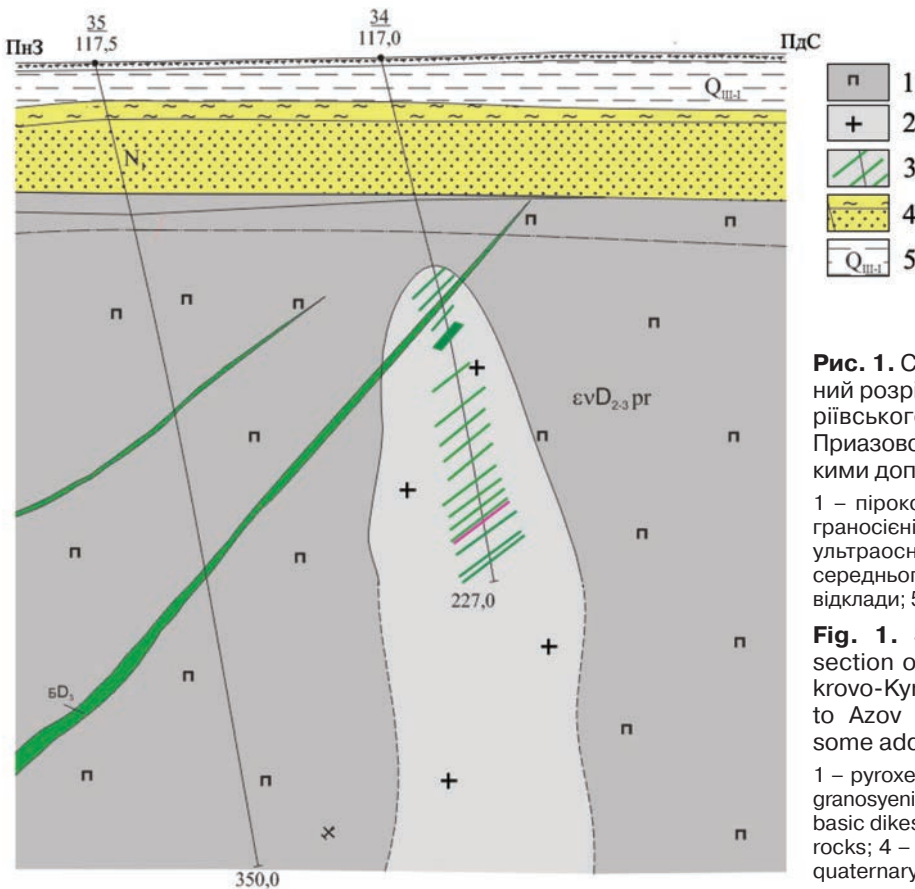


Рис. 1. Схематичний геологічний розріз св. 34 Покрово-Кириївського масиву (за даними Приазовської експедиції з деякими доповненнями авторів)

1 – піроксеніти та габроїди; 2 – граносієніти та граніти; 3 – дайки ультраосновного, основного та середнього складу; 4 – неогенові відклади; 5 – четвертинні відклади

Fig. 1. Simplified geological section of well № 34 from Pokrovo-Kyryiv massif (according to Azov expedition data with some addition authors)

1 – pyroxenites and gabbroids; 2 – granosyenites and granites; 3 – ultrabasic dikes, basic and intermediate rocks; 4 – neogene sediments; 5 – quaternary sediments

Геологічне положення змінених гранітоїдів

Гранітоїди, які оточують з заходу, півночі і півдня Покрово-Кириївський масив (структуру), нині відносять до хлібодарівського комплексу. Серед них, очевидно, переважають двопольовошпатові (калішпат домінує над плагіоклазом) граніти та граносієніти, які є головними типами порід хлібодарівського комплексу. Принаймні, це стосується гранітних масивів у басейні річок Кальміус і Грузький Єланчик (Кальміуський та Єланчицький масиви). Вони ж розкриваються і в Дмитрівському кар'єрі (Волноваський район). Власне, через це пропонується виділити ці гранітоїди в окремий кальміуський комплекс [Субщелочной..., 2010]. Для цих гранітоїдів характерні високозалістисті біотити та амфіболи (рогові обманки) [Субщелочной..., 2010], які часто утворюють скупчення (сегрегації) розміром до перших сантиметрів. До цих сегрегацій приурочені виділення апатиту, ільменіту та циркону.

Змінени граніти подібного типу було виявлено на одному з профілів, пробурених через габро-піроксенітовий масив Покрово-Кириївської структури (останню ми називаємо в подальшому Покрово-Кириївським масивом, виділяючи в ньому менші масиви габро-піроксенітів та лужних порід – маліньїтів та ювітів). Потужність гранітного тіла, що залягає серед масиву сублужних габро-піроксенітів, сягає 40 м. Це гранітне тіло ніби затиснене між основними та ультраосновними породами і перетинається численними дайками (із зонами загартування) переважно сублужних габроїдів (рис. 1), подібних або аналогічних за складом до сублужних добре розкристалізованих габро, які разом з піроксенітами оточують це гранітне тіло. Рідше трапляються дайки ультраосновного (пікритового) або середнього складу. Хімічний склад та петрографічну характеристику цих дайкових порід наведено у роботі [Фанерозойский..., 2015]. Розташоване між габро та піроксенітами гранітне тіло можна назвати «макроксенолітом», або, як це вживається іноді в петрологічній літературі за подібних ситуацій, терміном «риф». Цей «макроксеноліт» граніту перетинається вказаними дайками практично через кожні 10-12 м. В інтервалі 220 м було зафіксовано 17 дайок, головні з них показані на рис. 1. Можливо, цей макроксеноліт зміненого граніту являє собою фрагмент гранітного «апендиксу», що відга-

лується від головного тіла гранітів, як це показано на одній з геологічних схем [Бутурлинов, 1979], і вклинюється з півночі в габро-піроксенітовий масив (рис. 2).

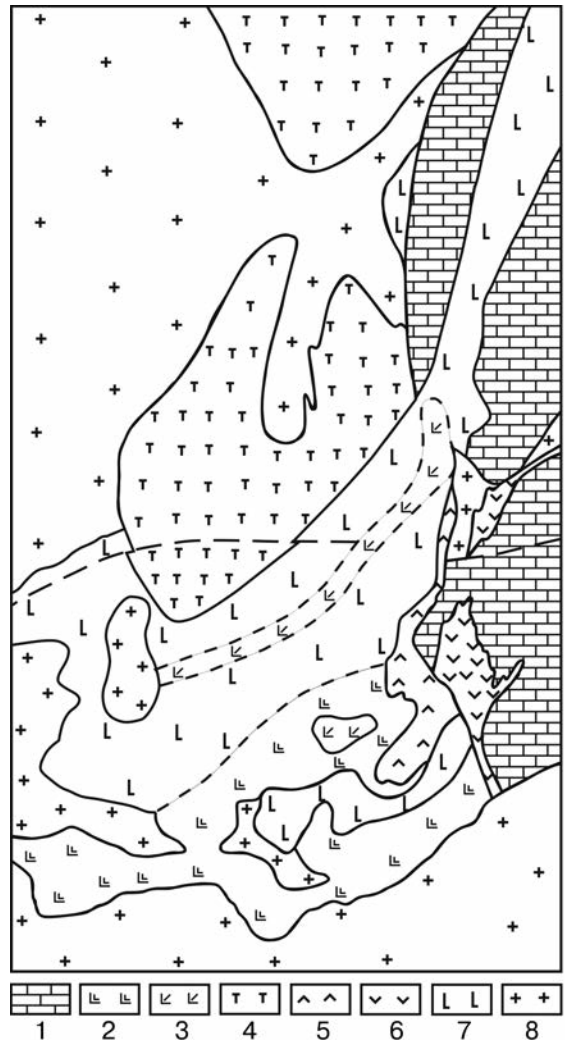


Рис. 2. Схема геологічної будови Покрово-Кириївського масиву за [Базит-гіпербазитовый..., 1973]

1 – нижньокам'яновугільні відклади; 2 – маліньїти, нефелінові сієніти (ювіти); 3 – вулканічні брекчії з уламками лужних порід; 4 – піроксеніти та габроїди; 5 – трахіти; 6 – андезити і трахіандезити; 7 – базальти та базальтоїди; 8 – докембрійські граносієніти і граніти

Fig. 2. Scheme of the geological structure Pokrovo-Kyryiv massif [Базит-гіпербазитовый..., 1973]

1 – early carboniferous deposits; 2 – malinyits, nepheline syenites (yuvity); 3 – volcanic breccia with fragments of alkaline rocks; 4 – pyroxenites and gabbroid; 5 – trachyte; 6 – andezits and trachandezits; 7 – basalts and bazaltoids; 8 – precambrian grano-syenites and granites

Текстурно-структурні особливості та мінеральний склад перетворених гранітоїдів

Гранітоїди представлені крупнозернистими, нерівномірнотекстуристими кварц-польовошпатовими породами з характерною плямистою текстурою. Співвідношення салічних мінералів у породі за даними нормативних розрахунків (%): альбіт – 26-46, кварц – 15-23, КПШ – 17-31, тобто кислий плагіоклаз переважає над КПШ. «Плями» фермічних мінералів розміром 0,2-1,5 см складаються дрібнозернистим агрегатом – магнетитом та амфіболом (рис. 3, а) чи магнетитом та слюдистим

біотитоподібним мінералом (рис. 3, б). Загальна кількість біотиту та амфіболу у породі не перевищує 5%. В цих агрегатах часто фіксуються численні ідіоморфні некрупні (0,1-0,4 мм по видовженню) кристали апатиту (рис. 3, с), рідше – голчасті видовжені зерна розміром до 0,6 мм. Магнетит присутній в гранітах як у вигляді мікротекстури, що зростаються з амфіболом та слюдою, пойкилітових включень в крупних зернах амфіболу та слюди, так і у вигляді окремих зерен середнього розміру (0,4-0,7 мм) неправильної форми, ксеноморфних відносно інших мінералів. Кількість магнетиту в окремих шліфах перевищує 10%.

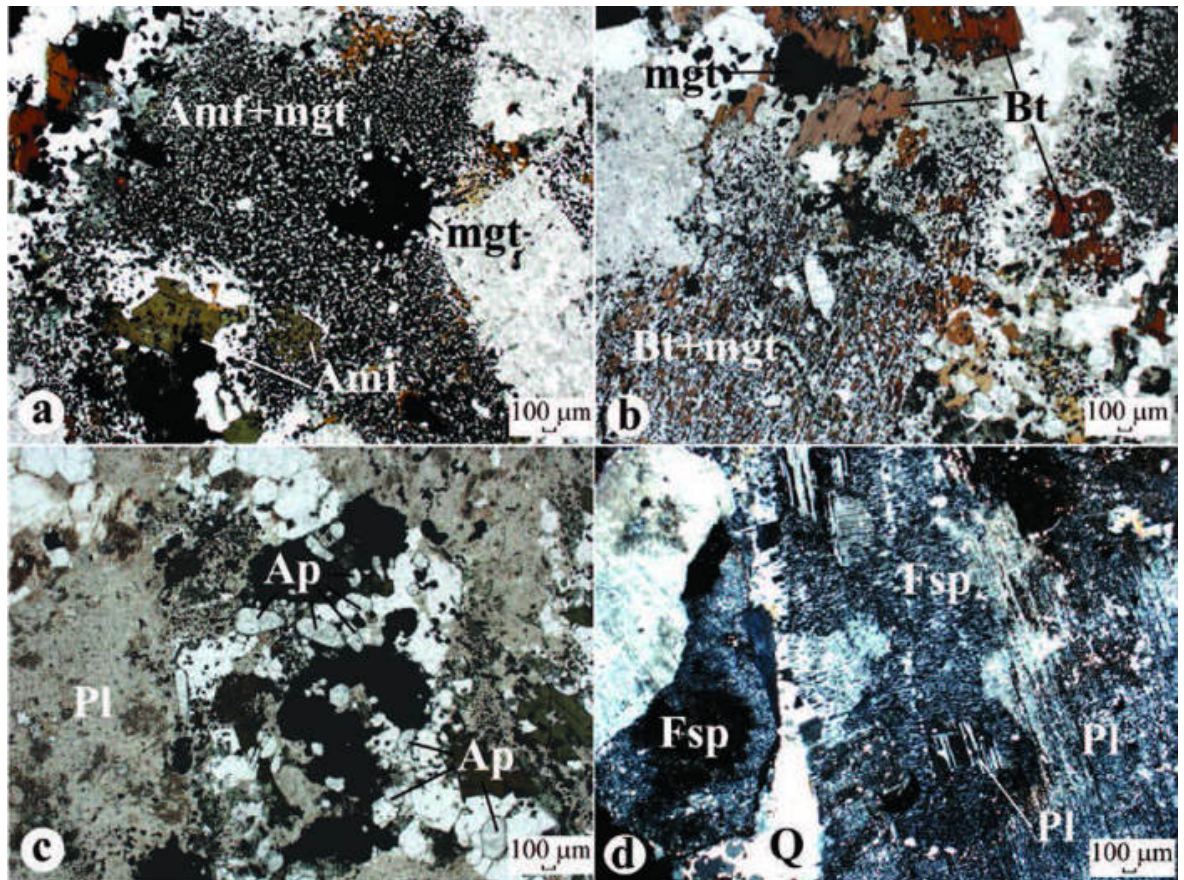


Рис. 3. Структурні та мінералогічні особливості перетворених гранітоїдів: а – «плями» фермічних мінералів, які складаються дрібнозернистим агрегатом магнетиту та амфіболу, б – магнетиту та біотитоподібної слюди (селадоніту), с – видовжені зерна апатиту, д – мікроклін-пертити з включеннями здвійникованого плагіоклазу (а-с – наскрізне світло, д – ніколі схрещені). Умовні позначення: Amf – амфібол, mgt – магнетит, Bt – біотитоподібна слюда (селадоніт), Ap – апатит, Pl – плагіоклаз, Fsp – калішпат, Q – кварц

Fig. 3. The textural and mineralogical peculiarities of alliterated granitoids: a – "spots" of ferromagnesian minerals, that consist of fine-crystalline magnetite and amphibole, b – magnetite and biotite-like micas (celadonite), c – elongated grains of apatite, d – microcline perthites with inclusions of plagioclase twinned crystals (a-c – through-light, d – crossed Nicols). Legend: Amf – amphibole, mgt – magnetite, Bt – biotite-like mica (celadonite), Ap – apatite, Pl – plagioclase, Fsp – K-feldspar, Q – quartz

Також у породі трапляються поодинокі, часто ідіоморфні зерна епідоту, присутній хлорит (менше 1%), який розвивається по біотитоподібній слюді, карбонат (менше 1%), окремі зерна цоїзиту та циркону. Кількісні співвідношення фермічних силікатів і магнетиту приблизно 3:1 або 1:1. Схоже на те, що апатиту в гранітоїдах Покрово-Кириївського масиву трохи більше, ніж у вихідних незмінених гранітах і граносієнітах басейну р. Кальміус (район Петрово-Гнутівського рідкісноземельного рудопояву) та кар'єру в с. Дмитрівка (Волноваський район).

Крім дрібнозернистих амфіболу та слюди, що зростається з магнетитом, у породі ділянками спостерігаються крупні (до 1-2 мм) таблитчасті зерна густозабарвленого в зеленіх і тютюново-зелених відтінках амфіболу (рис. 3, а) та темно-коричневого біотитоподібного селадоніту (рис. 3, б), які, мож-

ливо, є реліктовими від вихідного граніту. При цьому дрібнозернистий амфібол має блідо-зелене або синювато-зелене забарвлення.

Плагіоклаз представлений крупними зернами неправильної форми, найчастіше «запилений» дрібними лусочками серициту, а ділянками альбітизований, іноді зональний, де центральна частина менш серицитизована, ніж крайова, в ній спостерігаються тонкі полісинтетичні, іноді «висячі» двійники (рис. 4, а). За своїм хімічним складом він відповідає майже чистому альбіту.

Калішпат різною мірою пелітизований, утворює крупні зерна неправильної форми з нечастими пертитами, іноді з неявними елементами мікроклінової ґратки (рис. 3, d). Також у зернах калішпату трапляються звивисті проростання кварцу, які утворюють гранофірову структуру (рис. 4, b).

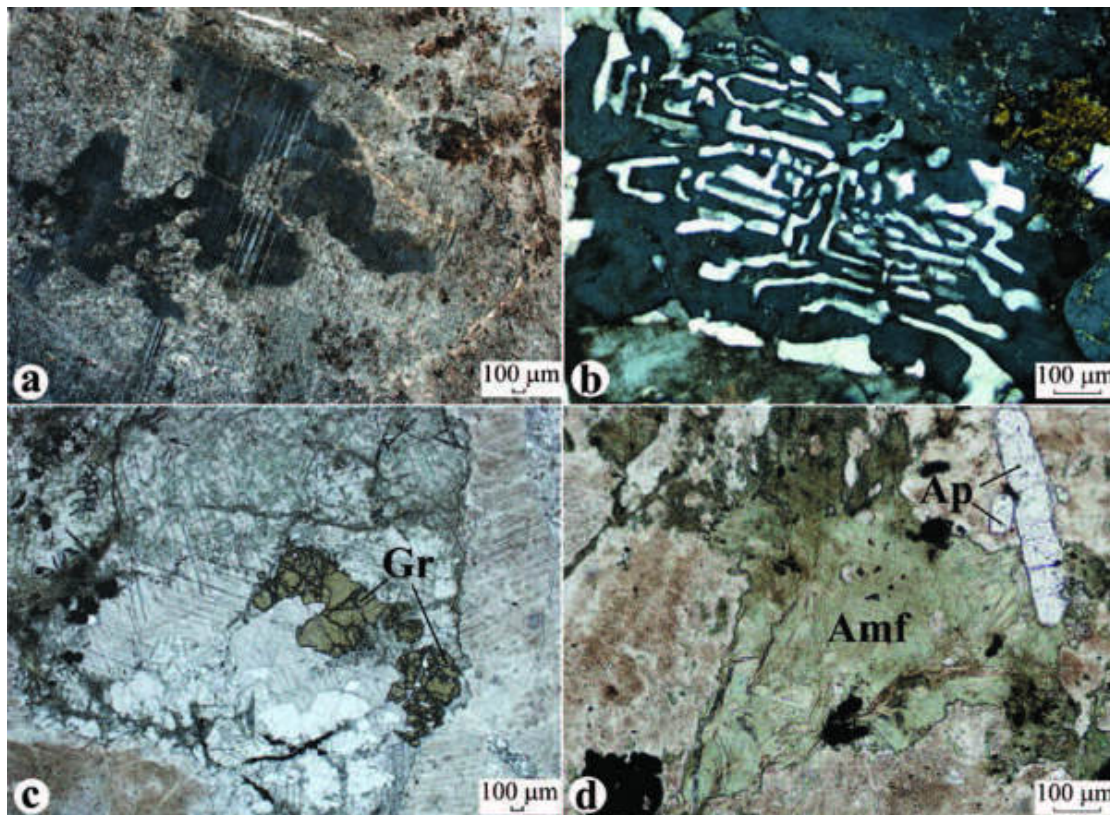


Рис. 4. Мінерали змінених гранітів: а – тонкі полісинтетичні двійники в центральній частині зерна плагіоклазу, б – фрагменти гранофірової структури – проростання кварцу в калішпаті, с – метасоматичні гранат (Gr) (с) та синювато-зелений радіально-променистий амфібол (d) (а-б – ніколи схрещені, с-d – наскрізне світло)

Fig. 4. Minerals of altered granites: a – thin polysynthetic twins in the center of plagioclase grain, b – fragments of granophyric texture – intergrow of quartz in K-feldspar, c – metasomatic garnet (Gr) (c) and blue-green radial fibrous amphibole (d) (a-b – crossed Nicols, c-d – through-light)

Кварц представлений скупченнями ксеноморфних прозорих зерен різного розміру, неправильної форми зі звивистими обрисами. Він частіше виповнює міжзерновий простір серед крупних зерен плагіоклазу та калішпату.

На контакті з дайкою ультраосновного складу як результат метасоматичного впливу в граніті з'являються окремі зерна гранату неправильної форми, що мають жовтуватий колір у наскрізному світлі (рис. 4, с). Гранат трапляється в оточенні карбонату, кількість якого в граніті збільшується. Також у метасоматично зміненому граніті з'являються крупні скупчення блідо-зеленого, синювато-

зеленого радіально-променистого амфіболу (рис. 4, d). Як показують мікрозондові аналізи, новоутворений амфібол відповідає за складом майже чистому магnezіальному актиноліту або дещо збагаченому натрієм актиноліту (0,22 ф.о. Na) (табл. 1). Можливо, є більш лужні (синюваті) амфіболи, які не потрапили в шашку для мікрозондових досліджень.

У той же час серед мікрозондових аналізів дрібнозернистої слюди діагностується мінерал, який можна віднести до магnezіально-алюмінієвого селадоніту (табл. 2) [Ricder et al., 1998], хоча в цих аналізах дещо підвищений вміст CaO, що, очевидно, зумовлено наявністю зростків дрібного кальциту.

Таблиця 1. Хімічний склад амфіболу сублужних гранітів (зр. 34-180,3)

Table 1. Chemical composition of amphibole from subalkaline granites (sample 34-180,3)

№ п/з	№ точки	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃
1	52	55,94	0,13	0,86	12,24	0,28	16,54	13,49	0,43	0,04	0,05
2	56	56,60	0,05	1,19	11,73	0,25	16,64	12,63	0,73	0,15	0,04
3	60	56,65	0,07	1,23	12,45	0,1	16,53	12,11	0,72	0,13	0,00
4	64	56,71	0,00	0,88	10,49	0,13	18,4	13,03	0,18	0,19	0,00
5	73	56,23	0,12	1,69	11,78	0,00	16,39	12,81	0,81	0,10	0,08
6	74	56,77	0,07	1,35	11,02	0,19	17,48	12,51	0,56	0,05	0,00
7	75	55,05	0,00	2,82	11,85	0,19	16,36	12,94	0,50	0,29	0,01
Кількість катіонів у розрахунку на 13 (Si+Ti+Al+Fe+Mn+Mg) Number of cations per 13 (Si+Ti+Al+Fe+Mn+Mg)											
№ п/з	№ точки	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Fe/Fe+Mg
1	52	7,89	0,02	0,14	1,44	0,03	3,47	2,04	0,12	0,01	0,293
2	56	7,93	0,01	0,19	1,35	0,03	3,48	1,90	0,19	0,03	0,285
3	60	7,90	0,01	0,20	1,45	0,01	3,43	1,81	0,19	0,03	0,297
4	64	7,84	0,00	0,15	1,21	0,02	3,79	1,93	0,05	0,03	0,243
5	73	7,90	0,01	0,28	1,38	0,00	3,43	1,92	0,19	0,03	0,288
6	74	7,88	0,01	0,23	1,28	0,03	3,62	1,86	0,15	0,01	0,261
7	75	7,72	0,00	0,45	1,39	0,03	3,42	1,94	0,13	0,04	0,289

Таблиця 2. Хімічний склад біотитоподібних слюд (селадонітів) сублужних гранітів (зр. 34-180,3)

Table 2. Chemical composition of micas (seladonites) from subalkaline granite (sample 34-180,3)

№ п/з	№ точки	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃
1	53	61,08	0,42	13,40	4,35	0,00	4,72	3,90	0,57	11,47	0,08
2	54	62,45	0,77	18,10	1,51	0,00	2,15	2,16	0,60	12,25	0,00
Кількість катіонів у розрахунку на 4Si Number of cations per 4Si											
№ п/з	№ точки	Si	Ti	Al Ф	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Fe/Fe+Mg
1	53	4,00	0,02	1,03	0,24	0,00	0,46	0,28	0,07	0,96	0,256
2	54	4,00	0,04	1,37	0,08	0,00	0,21	0,15	0,08	1,00	0,301

Гранат виявився практично чистим андрадитом (табл. 3), вважаючи на майже відсутність в гранаті Al_2O_3 . Варто зазначити, що андрадит є характерним мінералом фельдшпатоїдних сієнітів зіркоського комплексу південно-східного Приазов'я, також він фіксується в піроксенітах та шонкінітах [Фанерозойский..., 2015]. В нашому випадку андрадитовий гранат є продуктом метасоматичного впливу дайкових порід на граніти.

Тобто ми можемо припускати реакції заміщення вихідного залізистого амфіболу (рогової обманки) агрегатом, який складається переважно з актиноліту та магнетиту з домішкою альбіту і кварцу. Водночас первинний, також залізистий біотит, заміщується агрегатом Mg-Al-селадоніту і магнетиту.

Можливо, що в результаті утворення чистого андрадиту використовується та частина заліза, яка вивільнилася під час заміщення первинних залізистих рогової обманки і біотиту і не реалізувалася в новоутворених актиноліті та селадоніті.

Крім того, під час мікрозондових досліджень було виявлено глиноземистий ортит, походження якого не зовсім з'ясовано. Цей мінерал може бути як новоутвореним, так і реліктовим. Оскільки його мало, то він не відіграє помітної ролі в балансі речовини в процесі перетворення гранітів.

Петрохімічні особливості перетворених гранітів Покрово-Київського масиву

За вмістом кремнезему та лугів перетворені граніти потрапляють в поля кварцових сієнітів (табл. 4, № п/з 1, 5-9), трахіандезитів (те ж, 2, 3) та сублужних сієнітів (те ж, 4). Це можна пояснити досить високим вмістом у породах магнетиту, який «знижує» кількість SiO_2 . Також за підвищеною кількістю FeO, Fe_2O_3 , MnO, MgO та P_2O_5 граніти, що досліджуються, більш схожі на сієніти Приазов'я [Субщелочной..., 2010], а за вмістом TiO_2 навіть значно перевищують цей показник для сієнітів та граносієнітів. Ці особливості хімічного складу пояснюються гібридною природою гранітів, а саме – підвищеним вмістом фемічних мінералів, а також їхнім специфічним складом (селадоніт, андрадит). Вміст Al_2O_3 в перетворених гранітах від 13,22 до 15,65% – невисокий, як для граніту, але вищий за значення цього елемента (оксиду) для гранітів Кальміуського та Єланчицького масивів (табл. 4). За вмістом лугів 7,47-8,68% граніти належать до сублужних утворень, тільки одна з проб за вмістом лугів потрапляє до нормального ряду (6,16%). За типом лужності граніти належать до K-Na-серії з відношенням Na_2O/K_2O від 0,63 до 1,96. Як зазначалося вище, згідно з нормативними розрахунками, в усіх гранітах плагіоклаз переважає над калішпатом та кварцом. За значенням коефіцієнта агпаїтності (ag) змінені граніти є схожими на інші граніти Приазов'я.

Таблиця 3. Хімічний склад гранату із сублужних гранітів (зр. 34-180,3)

Table 3. Chemical composition of garnet from altered granites (sample 34-180,3)

№ п/з	№ точки	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Cr_2O_3
1	65	37,63	0,05	0,49	27,71	0,06	0,00	34,00	0,00	0,03	0,02
2	66	35,81	0,13	0,05	29,07	0,00	0,23	34,52	0,00	0,07	0,12
3	67	37,23	0,25	0,08	28,32	0,00	0,00	33,95	0,01	0,17	0,00
4	68	35,91	0,00	0,23	29,74	0,00	0,03	34,01	0,00	0,04	0,03
5	69	36,99	0,00	0,10	28,12	0,00	0,09	34,68	0,00	0,00	0,01
Кількість катіонів у розрахунку на 8 (Si+Ti+Al+Fe+Mn+Mg+Ca) Number of cations per 8 (Si+Ti+Al+Fe+Mn+Mg+Ca)											
№ п/з	№ точки	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Fe/Fe+Mg		
1	65	3,08	0,00	0,05	1,99	0,00	0,00	2,98	1,00		
2	66	2,93	0,01	0,00	1,99	0,00	0,05	3,03	0,98		
3	67	3,03	0,02	0,00	1,94	0,00	0,00	2,98	1,00		
4	68	2,95	0,00	0,02	2,04	0,00	0,00	2,99	1,00		
5	69	3,03	0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	3,04	1,00		

Таблиця 4. Хімічний склад навколишніх сублужних гранітоїдів Покрово-Кириївського масиву**Table 4.** Chemical composition of country subalkaline granitoids in Pokrovo-Kyriyv massif

№ п/з	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
№ зр.	34-101,0	34-131,3	34-134,0	34-137,0	34-192,7	34-195,7	34-206,5	34-216,3	34-221,0	ДМ-5	КЛ-1	Чр-10	
SiO ₂	65,80	62,44	62,56	60,33	64,47	66,11	65,98	64,49	65,10	70,78	72,28	70,20	72,78
TiO ₂	0,67	1,15	1,24	1,46	1,02	0,67	0,69	1,08	1,04	0,54	0,27	0,69	0,27
Al ₂ O ₃	13,87	15,65	13,22	14,88	13,83	13,28	13,92	14,25	14,01	12,38	12,87	12,40	13,80
Fe ₂ O ₃	3,25	2,78	3,75	5,35	2,56	2,62	1,95	4,35	1,02	0,62	0,26	1,78	0,73
FeO	3,00	4,03	4,00	4,03	3,43	3,29	3,43	3,02	4,58	4,29	2,64	3,36	1,12
MnO	0,11	0,16	0,08	0,13	0,06	0,08	0,08	0,11	0,08	0,07	0,02	0,04	0,03
MgO	1,32	1,12	1,38	1,44	1,29	1,58	1,39	1,20	1,48	0,82	0,66	1,15	0,37
CaO	2,76	2,69	2,94	3,81	2,85	2,76	2,69	2,02	2,66	2,08	1,85	1,50	1,56
Na ₂ O	3,68	3,44	3,56	3,26	5,38	3,53	4,30	3,08	3,41	2,94	3,01	3,14	3,47
K ₂ O	3,79	5,04	5,12	2,90	2,74	4,96	3,98	4,89	5,08	4,31	5,14	4,21	4,73
P ₂ O ₅	0,20	0,25	0,25	0,35	0,14	0,24	0,14	0,21	0,19	0,11	0,12	0,12	0,11
S	0,10	0,08	0,26	0,70	0,30	0,05	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	-
H ₂ O ⁺	0,09	0,11	0,12	0,17	0,23	0,13	0,09	0,17	0,03	0,01	0,08	0,20	-
ppp	1,21	0,94	1,21	1,44	1,37	0,96	0,83	0,81	1,23	0,59	0,57	1,05	0,32
сума	99,85	99,88	99,69	100,25	99,67	100,26	99,53	99,72	99,94	99,53	99,78	99,86	99,29
Na ₂ O+K ₂ O	7,47	8,48	8,68	6,16	8,12	8,49	8,28	7,97	8,49	7,25	8,15	7,35	8,20
Na ₂ O/K ₂ O	0,97	0,68	0,70	1,12	1,96	0,71	1,08	0,63	0,67	0,68	0,59	0,75	0,73
ag	0,80	0,81	0,98	0,61	0,86	0,96	0,88	0,84	0,91	0,88	0,95	0,89	0,89

Примітка: 1-9 – сублужні граніти Покрово-Кириївського масиву; 10 – граніт з Дмитрівського кар'єру; 11 – граніт з лівого берега р. Кальміус; 12 – граніт с. Черненко (район Петрово-Гнутівського родовища); 13 – роговообманкові та біотит-роговообманкові граніти Кам'яніського масиву (середній склад n = 9) [Субщелочної..., 2010].

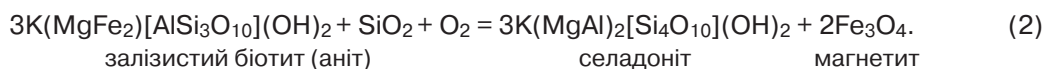
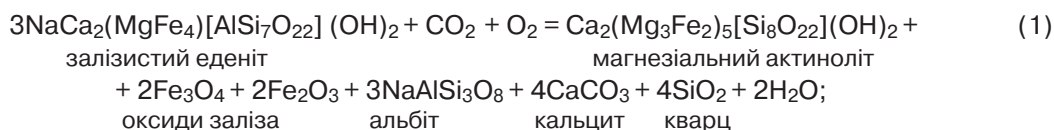
Note: 1-9 – subalkaline granites of Pokrovo-Kyriyv massif; 10 – granite from Dmytrivka quarry; 11 – granite of the slope bank r. Kalmius; 12 – granite of Chernenko village (Petrovo-Gnutovo field); 13 – hornblende and biotite-hornblende granites of Kalmius massif (n = 9) [Субщелочної..., 2010].

За даними спектрального аналізу в перетворених гранітах фіксується підвищений вміст Zr (до 0,1%) та Ba (до 0,2%).

Обговорення результатів та висновки

З розглянутого матеріалу випливає, що процес екзоконтактових перетворень вміщувальних гранітів не є типовим. Розглянуті структури породи та характер новоутворених мінералів змінених гранітів відмінні від мінеральних перетворень, які пов'язані з такими відомими екзоконтактовими процесами, як фенітизація або скарнування, хоча мають деякі схожі риси. Подібно до фенітизованих гранітоїдів в нашому випадку

утворюється актиноліт з незначним вмістом натрію. Можливо, в цих породах буде виявлено і більш лужний амфібол типу рихтериту. На подібність до скарнового мінералоутворення може вказувати утворення андрадиту. Варто зазначити, що андрадит, особливо з титаном, є також характерним мінералом багатьох лужних порід, у тому числі Приазов'я [Кривдик та ін., 2012; Кривдик и др., 2006]. Схематичні реакції заміщення залістистих амфіболів вихідних гранітів [Кривдик и др., 2006] на агрегат магнетиту й актиноліту, а біотитів – на селадоніт і магнетит можуть бути записані таким чином:



Звичайно, ці реакції є досить спрощеними, але вони відображають процес перетворення головних фемічних мінералів, а також утворення магнетиту, альбіту, кварцу і кальциту. Як видно з реакції (1) та наявності в змінених гранітах кальциту (вкрапленість, гнізда), процес новоутворення актиноліту може відбуватися з участю CO₂, джерелом якого є, очевидно, основні магми (з яких кристалізувалися сублужні габро, піроксеніти та дайкові габроїди). Як відомо, CO₂ є характерним летким компонентом основних та лужних магм. З інтрузивних

габро та піроксенітів могли також частково мігрувати в навколишні гранітоїди залізо та магній. Як видно з хімічних аналізів порід (табл. 4), у змінених гранітоїдах зменшується вміст SiO₂ і збільшується кількість FeO, Fe₂O₃, MgO порівняно з типовими гранітами Кальміуського та Єланчицького масивів (табл. 4).

Можливо, що саме сублужний характер базитових магм зумовив такі досить специфічні перетворення вміщувальних гранітів в екзоконтактовому ореолі інтрузій титанавгітових піроксенітів та габро порід.

Список літератури/ References

1. *Базит-гипербазитовый* магматизм и минерация Восточно-Европейской платформы / под ред. В.И. Гоншакowej. – М.: Недра, 1973. – 296 с.
Mafic-ultramafic magmatism and metallogeny of the East European platform. (Ed. V.I. Gonshakova). Moscow: Nedra: 1973, 296 p. (in Russian).
2. *Бутурлинов Н.В.* Магматизм грабенообразных прогибов юга Восточно-Европейской платформы в фанерозое: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Киев, 1979. – 52 с.
Buturlinov, N.V., 1979. Magmatism of graben-like depressions in the south of the East European platform in Phanerozoic. Abstr. Dr. of geol.-mineral. sci., Kiev, 52 p. (in Russian).
3. *Кривдик С.Г., Возняк Д.К., Шаригін В.В., Дубина О.В.* Мінерали лужних порід України // Зап. Укр. мінерал. т-ва. – 2012. – Т. 9. – С. 7-34.
Kryvdik S.G., Wozniak D.K., Sharyhin V.V., Dubyna O.V., 2012. Minerals from alkaline rocks of Ukraine. *Zapysky Ukrainskogo Minerologichnogo Tovarystva*, vol. 9, p. 7-34 (in Ukrainian).
4. *Кривдик С.Г., Цымбал С.Н., Раздорозный В.Ф.* Палеозойские щелочные породы Восточного Приазовья (Украинский щит) // Минерал. журн. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 5-40.
Kryvdik S.G., Tymbal S.N., Razdorozhny V.F., 2006. Alkaline rocks from East Azov area (Ukrainian Shield). *Mineralogicheskij Zhurnal*, vol. 28, № 2, p. 5-40 (in Russian).
5. *Субщелочной докембрийский* магматизм и тектоно-геофизические особенности Восточного Приазовья Украинского щита / Е.М. Шеремет, С.Г. Кривдик, П.И. Пигулевский. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 289 с.
Subalkaline Precambrian magmatism and tectono-geophysical features of East Azov area from Ukrainian Shield / *E.M. Sheremet, S.G. Kryvdik, P.I. Pigulevsky.* – Donetsk: Noulidzh, 2010, 289 p. (in Russian).
6. *Фанерозойский* магматизм восточного Приазовья Украинского щита и связанные с ним полезные ископаемые (петрология, геохимия и рудоносность) / Е.М. Шеремет, С.Г. Кривдик, Н.А. Козар и др. – Киев: ЦП «Компринт», 2015. – 318 с.
Phanerozoic magmatism of Eastern Asov area of Ukrainian Shield and related commercial minerals (petrology, geochemistry and ore potential) / *E.M. Sheremet, S.G. Kryvdik, N.A. Kozar, S.N. Strezkozov, N.V. Vovkotrub, L.D. Setaya, I.U. I. Yu. Nikolaev, N.G. Agarkova, A.V. Dubina, V.A. Gatsenko, E.S. Lunjov.* Kiev: Comprint, 2015, 318 p. (in Russian).
7. *Ricder M., Cavazzini G., D'yakonov Y.S. et al.* Nomenclature of the micas // *Can. Miner.* – 1998. – Vol. 36. – P. 41-48.
Ricder M., Cavazzini G., D'yakonov Y.S., Frank-Kamenetsii V.A., Gottrdi G., Guggenheim S., Koval' P.W., Moller G., Neiva A.M. R., Radoslovich E.W., Robert J.-L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z. and Wones D.R., 1998. Nomenclature of the micas. *Can. Miner.*, vol. 36, p. 41-48 (in English).

Стаття надійшла
16.02.2016

УРАН І ТОРІЙ У РУДНИХ АЛЬБІТИТАХ ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ ВАТУТІНСЬКОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

І.І. Михальченко¹, Б.Н. Іванов²

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук С.Г. Кривдіком)

¹ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: alcoldan@i.ua*

Кандидат геологічних наук, докторант.

² *Кандидат геолого-мінералогічних наук, пенсіонер.*

Встановлено, що в найменш окиснених «рудних» альбітитах, які розкриті на глибоких горизонтах Ватутінського родовища (Центральноукраїнський урановорудний район), кореляція урану і торію дуже висока (оцінка коефіцієнта рангової кореляції Спірмена $\approx 0,99$). Це дає підставу стверджувати, що привнесення й осадження урану супроводжувалися також привнесенням й осадженням торію, хоча концентрації цих хімічних елементів у тілах багатих руд відрізняються на декілька порядків.

Ключові слова: уран, торій, коефіцієнт, кореляція, альбітит, Ватутінське родовище.

URANIUM AND THORIUM IN RICH URANIUM ORE ALBITITES OF DEEP HORIZONS OF THE VATUTYNKA ORE DEPOSIT (THE UKRAINIAN SHIELD)

I.I. Mihalchenko¹, B.N. Ivanov²

(Recommended by doctor of geological and mineralogical sciences S.G. Kryvdik)

¹ *M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: alcoldan@i.ua*

Candidate of geological sciences, doctoral candidate.

² *Candidate of geological and mineralogical sciences, pensioner.*

It is established that least oxidized rich uranium ore albitites, which uncovered at the deep horizons of Vanutinka ore deposit (Central-Ukrainian uranium ore-bearing district, the Ukrainian shield), show very high correlation between uranium and thorium (estimation of Spearman's coefficient rank correlation ≈ 0.99). It makes it possible to claim that uranium influx and sedimentation was accompanied by inflow and precipitation of thorium. In spite of the fact that concentrations of these chemical elements are different in bodies of rich uranium ores.

Key words: uranium, thorium, Spearman's coefficient of rank correlation, albitite, Vatutinka ore deposit.

УРАН И ТОРИЙ В РУДНЫХ АЛЬБИТИТАХ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ВАТУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

И.И. Михальченко¹, Б.Н. Иванов²

(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук С.Г. Кривдиком)

¹ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: alcoldan@i.ua*

Кандидат геологических наук, докторант.

² *Кандидат геолого-минералогических наук, пенсионер.*

© И.И. Михальченко, Б.Н. Иванов, 2016

Установлено, что в наименее окисленных «рудных» альбититах, которые встречены на глубоких горизонтах Ватутинского месторождения (Центральноукраинский урановорудный район) корреляция урана и тория очень высокая (оценка коэффициента ранговой корреляции Спирмена $\approx 0,99$). Это даёт основание утверждать, что привнос и осаждение урана сопровождались также привносом и осаждением тория, хотя концентрация этих химических элементов отличается на несколько порядков.

Ключевые слова: уран, торий, коэффициент, корреляция, альбитит, Ватутинское месторождение.

Актуальність роботи

Головними завданнями геохімії є дослідження розповсюдження і розподілу хімічних елементів в земній корі, їх розсіювання й місцева концентрація, сполучення, міграції, поведінки в земній корі як кожного окремого елемента, так і при сполученні з іншими елементами [Ферсман, 1922]. З кінця 30-х років минулого століття одним з найбільш досліджуваних серед хімічних елементів земної кори став уран (U). У центральній частині Українського щита (УЩ) завдяки інтенсивним геологічним пошукам родовищ цього хімічного елемента із середини 40-х років ХХ ст. була виявлена низка родовищ й рудопроявів, зокрема рудної формації ураноносних натрієвих метасоматитів (альбітитів) (РФУНМ) (геологічна формація лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів PR_1^2mt (історія виникнення назви формації наведена в [Михальченко, 2012])) Центральноукраїнського (ЦУУР) та Кіровоградського урановорудних районів (КУРР) (назви районів за [Белевцев и др., 1995]), а також Криворізько-Кременчуцької металогенічної зони. В окремих родовищах і рудопроявах відомі рудоносні альбітити, у хімічному складі яких були визначені значні масові частки (w) як урану U ($w(U)$), так і торію ($w(Th)$) [Обризанов, 1976; Михальченко, 2015 та ін.].

Натепер існує проблема генезису гідротермально-метасоматичних розчинів, що призвели до утворення РФУНМ. Зараз досить добре відомі геохімічні особливості поведінки U і Th в ендегенних процесах утворення й перетворення гірських порід земної кори. При магматичних процесах ці елементи мігрують й осаджуються, як правило, разом, а у міру розвитку постмагматичних процесів, зниження температури пневматолітово-гідротермальних породотвірних систем відбувся (і відбувається)

розподіл U й Th [Невский и др., 1972 та ін.], що обумовлено як їхніми хімічними особливостями, так і зміною фізико-хімічних властивостей породотвірних (породоперетвірних) флюїдів і відповідних перетворень вихідних гірських порід.

Вивчення особливостей розповсюдження і зв'язку цих хімічних елементів дає можливість реконструкцій, які допомогли б вирішити, зокрема, проблему генезису руд, вертикальної рудної зональності, доповнення парагенетичних асоціацій хімічних елементів РФУНМ.

Зв'язок роботи з науковими та практичними завданнями

Дослідження пов'язане з виконанням: наукової роботи Інституту геохімії, мінералогії і рудоутворення (ІГМР) імені М.П. Семененка НАН України № III-01-13 «Хроностратиграфія та геодинаміка мегаблоків Українського щита», державний реєстраційний номер 0112U006807; Розпорядженням Президента України від 27.02.2001 р. № 42/2001-рп «Про розроблення енергетичної стратегії України на період до 2030 р. і на подальшу перспективу» (зі змінами), яким підтримані пропозиції НАН України щодо розроблення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. та дальшу перспективу; відповідною постановою Кабінету Міністрів України від 06.06.2001 р. № 634-8 «Про затвердження комплексної програми створення ядерно-паливного циклу України» (зі змінами).

Аналіз попередніх досліджень і публікацій

При утворенні об'єктів РФУНМ відбулося привнесення й осадження (концентрація) значних мас Na і, зокрема, U, що знайшло відображення в її назві. Сучасний же стан рівня дослідження розподілу Th в рудоносних альбітитах центральної частини УЩ

охарактеризований Ю.А. Фомінін: «Информация о ториенности урановорудных альбититов и вмещающих их пород, содержащаяся в опубликованных (и фондовых) работах, довольно скудна и противоречива» [Фомин, 2013, с. 144]. Неоднозначними також є відомі результати дослідження зв'язку U й Th в рудоносних альбітитах.

Вірогідно, перші результати дослідження зв'язку U й Th в «рудних» альбітитах Ватутінського родовища (ВР) урану (ЦУУР) були повідомлені В.М. Обрізановим у 1974 р.: «В рудах месторождения установлено некоторое повышенное содержание тория (при отсутствии его корреляции с ураном)...» [Обризанов, 1974, с. 20]. Пізніше, у 1979 р., І.Г. Мінеєвою були наведені від'ємні оцінки коефіцієнтів парної лінійної кореляції Пірсона (КПКП) U й Th ураноносних альбітитів КУРР: хлорит-егіринових – -0,25, егірин-рибекітових – -0,13 [Минеева, 1979]. У цьому ж журналі у статті, в якій співавтором також була І.Г. Мінеєва [Минеева и др., 1979], на рис. 127, який знаходиться на с. 194, зображені криві розподілу, зокрема, значень вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ вздовж св. 79 ВР, згідно з якими в інтервалах перетину цією свердловиною альбітитів спостерігається збільшення як $w(U)$, так і $w(Th)$ в хімічному складі (ХС) цих порід. Варто зазначити, що для натрієвих метасоматитів фосфорно-рідкісно-земельно-торій-уранової рудної формації (Тимощівський рудопрояв та ін.) І.Г. Мінеєвою наведено позитивне значення оцінки КПКП U і Th – 0,62 [Минеева, 1979]. Для малакон-апатитових руд лужних натрієвих метасоматитів Жовторіченського комплексного родовища (Криворізько-Кременчуцька металогенічна зона) оцінка КПКП цих хімічних елементів у 1990 р. наведена О.В. Тархановим та ін. – 0,58 [Тарханов и др., 1990].

У 2013 р. Енді Уайльдом (Andy Wilde) були опубліковані виключно позитивні оцінки коефіцієнтів кореляції U і Th в рудах ураноносних альбітитів (Albitite-Type Uranium), які були виявлені в різні роки в інших частинах Землі. Для родовища Лагоа Реал (Lagoa Real, Brazil) наведений коефіцієнт кореляції – 0,58 (39 проб), Джаку Лейк (Jacques's Lake, Central Mineral Belt, Canada) – 0,83 (4456 проби), Валгалла (Valhalla, Mount Isa district, Australia) – 0,56 (12173 проби), Дюк

Ветмен (Duke Batman, Mount Isa district, Australia) – 0,98 (14 проб) [Wilde, 2013].

Причинами для повторення дослідження кореляції U і Th в «рудних» альбітитах глибоких горизонтів ВР слугували: дані розподілу значень вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ вздовж перетину св. 79 на ВР ураноносних альбітитів [Минеева и др., 1979⁶]; сучасні результати дослідження ХС уранініту з глибоких горизонтів ВР (окремі виміри $w(Th)$ в ХС цього мінералу сягають 0,65% [Бондаренко та ін., 2015]); результати оцінки коефіцієнта рангової кореляції Спірмена (КРКС) значень вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ у ХС торій-ураноносних альбітитів Новоолексіївського рудопрояву (Партизанське рудне поле, ЦУУР) – 0,84 (33 проби) [Михальченко, 2015].

Об'єкт дослідження – альбітити ВР.

Предмет дослідження – $w(U)$ й $w(Th)$ у ХС «рудних» альбітитів на глибоких горизонтах ВР.

Мета дослідження – встановити характер статистичного зв'язку U й Th в «рудних» альбітитах на глибоких горизонтах ВР.

Методи дослідження

Проведенню дослідження передували: збір даних попередніх і сучасних геологічних досліджень, геологічна, радіометрична документація та відбір проб з перетинів урановорудних альбітитів сучасними гірськими виробками на глибоких горизонтах ВР. $w(U)$ і $w(Th)$ у пробах були виміряні методом рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу (лабораторія казенного підприємства «Кіровгеологія»).

З огляду на відносно невеликий обсяг парних значень вихідних вибірок статистичний зв'язок U і Th досліджено із застосуванням одного з непараметричних методів кореляційного аналізу – визначенням КРКС [Spearmen, 1904; Ван дер Варден, 1960]. Значущість оцінок КРКС досліджена за [Ван дер Варден, 1960]. Тіснота статистичного зв'язку класифікована за шкалою Чеддока (наведена в [Сизова, 2005]).

Верифікація оцінки тісноти статистичного зв'язку зроблена за допомогою розрахунку КПКП за низкою формул, які наведені в [Ткачєв, Юдович, 1975]. Натепер відомо, що статистичний розподіл значень вимірів $w(U)$, які визначені у ХС проб руд уранових

родовищ світу, апроксимується логнормальним законом розподілу [Карлье, 1966]. Це було підтверджено при дослідженні розподілу значень вимірів $w(U)$ в ХС проб альбітитів Новокостянтинівського родовища урану [Михальченко, 2014]. Раніше і В.М. Обризанов зазначав, що розподіл значень вимірів $w(U)$ у ХС порід ВР апроксимується логнормальним законом [Обризанов, 1974], тому перед обчисленням КПКП $w(U)$ й $w(Th)$ у ХС проб альбітитів ВР було здійснено розрахунок десяткових логарифмів значень вимірів $w(Igw)$ цих хімічних елементів. Послідовність вираховування оцінки КПКП: побудова кореляційного поля $Igw(U)$ й $Igw(Th) \rightarrow$ розрахунок констант й коефіцієнтів лінійних рівнянь регресій (ЛРР) $Igw(Th)$ на $Igw(U)$ та $Igw(U)$ на $Igw(Th)$ (константи й коефіцієнти ЛРР обчислені аналітичним способом Адрієна Лежандра (Adrien-Marie Legendre) [Legendre, 1804] й Карла Гауса (Carolo Frederico Gauss) [Gauss, 1809] за формулами, які наведені у [Ворошилов, 2001]) \rightarrow вираховування вибіркового коефіцієнта детермінації (КД) за коефіцієнтами ЛРР $Igw(Th)$ на $Igw(U)$ та $Igw(U)$ на $Igw(Th) \rightarrow$ обчислення оцінки КПКП $Igw(U)$ й $Igw(Th)$ за оцінкою КД.

Досліджений рівень організації геологічної речовини – гірська порода.

Геологічна будова

ВР (перша назва – Спасівський рудопрояв) виявлено в 1966 р. М.В. Смоліним та ін. (партія № 47 казенного підприємства «Кіровогеологія» (назва підприємства – сучасна)) при бурінні пошуково-картувальної св. 1669 профілю L (інтервал буріння 45,75-52,75 м, $w(U) - 0,115\%$) [Макивчук и др., 1978].

ВР знаходиться в західній частині Інгульського (Кіровоградського) мегаблоку району УЩ на перетині субмеридіональної Звенигородсько-Ганнівської з північно-західною Оникіїво-Лозуватською (Центральний розлом УЩ) та субширотною Суботсько-Мошоринською зонами глибинних розломів. У районі родовища кристалічний фундамент складений гранітоїдами кіровоградського комплексу PR_1^1kg Березівсько-Шевченківського гранітного валу, в яких знаходяться численні різномасштабні релікти метамор-

фітів інгуло-інгулецької серії PR_1^1ii . Фундамент розсічений Східно-Курниківською зоною розломів північно-західного простягання. Її фрагментами є Головний Західний та Діагональний розломи. Також виявлені фрагменти субмеридіонального поясу жил пегматитів, пегматоїдних гранітів, аплітів PR_1^1kg . Найбільш молодими магматичними породами в районі родовища є діабазы, лампрофіри, вірогідно, северинського дайкового комплексу PR_1^2sv (назва – за О.М. Сухініним, 1984) Бобринецько-Андріївського північно-західного дайкового поясу. Субмеридіональний Новопавлівський розлом Звенигородсько-Ганнівської зони розташований дещо на схід від родовища. Головним тектонічним порушенням ВР є зона розломів північно-західного простягання: Головний Західний та Діагональний розломи, які супроводжуються та оперяються численними дрібнішими диз'юнктивами. Простягання Головного Західного розлому від 330° ПнЗ на півдні до $320-310^\circ$ на сполученні з Діагональним розломом, далі до північного заходу $300-290^\circ$; падіння південно-західне $80-85^\circ$ [Іванов и др., 2013].

Гідротермально-метасоматично змінені породи ВР являють собою, у цілому, утворення геологічної формації лужних натрієвих зон глибинних розломів. Перетворення порід кристалічного фундаменту відбулися в дві стадії: ранню (альбітиту) і завершальну (постальбітиту, споріднену). Основний обсяг формації утворився тут внаслідок дії лужних натрієвих розчинів на гранітоїдні породи. «Горизонтальна» зональність ранньої стадії цих гідротермально-метасоматичних утворень по гранітоїдах: незмінений граніт (нульова зона) \rightarrow «діафторований» (слабо змінений) граніт \rightarrow альбіт-мікрокліновий (мікроклін-альбітовий) метасоматит («сієніт») (проміжна зона метасоматичної колонки), альбітит (тилова зона) [Обризанов, 1974]. Метасоматичні тіла складаються з проміжної і тилової зон. «Вертикальна» зональність ранньої стадії – рибекіт-егіринові альбітити тилових зон змінюються у верхніх частинах метасоматичних тіл на хлорит-епідотові. Найбільш високотемпературні андрадит-діопсидові альбітити збереглися фрагментарно.

Мінеральний склад тилкових зон лужних натрієвих метасоматитів ранньої стадії породотворення ВР (по вихідних гранітоїдах – це альбітити) (об'ємні відсотки (φ), %): альбіт – 60-95; кольорові мінерали – 0-40 (піроксени (егірин-діопсид, егірин) хлорити, епідоти, амфіболи (актиноліт, рибекіт), андрадит та ін.); кварц – 0-35; завершальної – додаються флогопіт, хлорит, карбонат. Головні мінерали мікроклін-альбітових метасоматитів (φ , %): мікроклін – 20-30; альбіт – 20-60; кольорові мінерали (переважно хлорит і епідот) – 0-30; кварц – 0-40. Акцесорні й рудні мінерали альбітитів – апатит, монацит, циркон, магнетит, гематит, титаніт, рутил, ільменіт, галеніт, пірит, халькопірит, сфалерит, рідко – золото, радіогенний свинець та ін. [Обризанов, 1974 та ін.]. Виявлені рідкісні мінерали: стронціобарит, сенаїт ($PbFeFe_8Ti_{12}O_{38}$), Се-уекфілдит ($CeVO_4$), мінерали ряду коронадит ($PbMn_8O_{16}$) – голандит ($BaMn_8O_{16}$). Встановлена наявність V- та Sc-вмісних піроксенів: егірин-діопсид ($w(V_2O_5)$ – до 2%) і піроксен діопсид-егірин-джервіситового ряду ($w(Sc_2O_3)$ – до 12%) [Бондаренко та ін., 2015].

Уранове зруденіння родовища має накладений характер і локалізоване виключно в альбітитах (тиловій зоні метасоматичної колонки) [Обризанов, 1974]. Як і на інших родовищах цього типу, уранові руди ВР займають незначну частку від загального об'єму гідротермально-метасоматичних порід. Мінерали-концентратори урану: уранініт, настуран, бранерит і урано-титанові оксиди, уранова чернь, гідроксиди уранілу, уранофан, болтвудіт, уранотіл, казоліт, кофініт. У 1980 р. І.Г. Мінеєвою було повідомлено (усно) про знаходження в рудах ВР ураноторіаніту. Морфологія рудних тіл – пластоштокверкоподібна. За $w(U)$ руди родовища переважно бідні та рядові. Разом з тим трапляються локальні ділянки відносно багатших руд. Орієнтування рудних тіл збігається в плані з простяганням тіл альбітитів та розривів, що їх (альбітити) контролюють [Іванов и др., 2013]. За характером розподілу уранової мінералізації виділяються вкраплені, гніздово-вкраплені та прожилкові і мікропрожилкові руди. Вкраплені, гніздово-вкраплені руди розвинуті значно ширше прожилкових та лінзоподібних тіл.

На глибоких горизонтах ВР розрізняють уранінітовий та бранеритовий типи зруденіння.

У 1975 р. С.Ф. Карпенком була повідомлена (усно) оцінка віку утворення уранових мінералів альбітитів ВР за даними ізотопних досліджень Pb та U – ≈ 1750 млн років. За даними ізотопних геохронологічних досліджень віковий проміжок утворення ураноносних натрієвих метасоматитів Інгульського мегаблоку УЩ оцінюється в 1840-1800 млн років [Щербак и др., 2008]. За даними відносної геохронології породи формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів утворилися між вкоріненням малих основних й ультраосновних інтрузій северинського дайкового комплексу PR_1^{2sv} та анортозит-рапаковігранітною асоціацією порід корсунь-новомиргородського комплексу PR_1^{2kn} (обґрунтування див. у роботі [Михальченко, 2012]).

У цій публікації ми наводимо частину результатів дослідження трьох тіл багатих руд, які були розкриті на горизонтах 460, 475 та 542 м від поверхні землі в межах ВР.

Перше рудне тіло (рудний поклад IV-е, горизонт 542, штрек вторинного дроблення, осі 15-19, маркшейдерські точки 13, 24) локалізовано в флогопіт-рибекіт-егіринових альбітитах. Флогопіт тут асоціює з карбонатом, сфеном, магнетитом, уранінітом. Інколи кристали флогопіту й карбонату трапляються разом зі скупченнями егірину. Радіоактивна мінералізація представлена переважно уранінітом. Іноді по периферії прожилкових виділень уранініту спостерігається гематит і лімоніт. З «рудних» альбітитів було відібрано сім проб.

Друге рудне тіло (рудний поклад IV-е, горизонт 460, штрек буровий, осі 11-14, маркшейдерські точки 461, 464) тягнє до рибекіт-егіринових альбітитів, іноді з накладеним флогопітом. Радіоактивна мінералізація представлена здебільшого бранеритом й жовтими силікатами уранілу. Останні утворилися в результаті епігенетичних перетворень (окиснення) вихідних гідротермально-метасоматичних порід. З «рудних» і «нерудних» апогранітних альбітитів було відібрано шість проб.

Третє рудне тіло (рудний поклад IVг, горизонт 475, штрек буровий, осі 21-25,

маркшейдерські точки 37, 39) утворилося в рибекіт-егіринових альбітитах (вихідні породи – катаклазити й мілоніти). Радіоактивна мінералізація прожилково-вкраплена, складається з уранініту, жовтих вторинних силікатів уранілу й ільменіт-уранових черней. З «рудних» і «нерудних» альбітитів було відібрано сім проб.

Оцінка віку утворення для найбільш давніх кристалів уранініту з проби № 6, яка була відібрана з першого рудного тіла, становить (1752,4±0,6) млн років (за даними ізотопних

досліджень Pb та U, які виконані за допомогою восьмиколекторного мас-спектрометра MI-1201 AT в мультиколекторному статичному режимі (лабораторія ІГМР НАН України) [Бондаренко та ін., 2015].

Результати дослідження

Дані вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ в ХС проб, які були відібрані з першого рудного тіла, значення вирахування відповідних Ig та проміжні результати статистичної обробки наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Дані вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ в ХС проб з першого рудного тіла (горизонт 542) ВР та проміжні результати статистичної обробки

Table 1. Data of dimension $w(U)$ and $w(Th)$ in chemical composition of samples from the first ore body (horizon 542) of the Vatutinka ore deposit and intermediate results of statistic processing

№ з/п	№ проби	$w(U)_i$	$w(Th)_i$	$Igw(U)_i$	$Igw(Th)_i$	$Rw(U)_i$	$Rw(Th)_i$	$Rw(U)_i - Rw(Th)_i$	$(Rw(U)_i - Rw(Th)_i)^2$
1	5	3500	21	3,5441	1,3222	3,0	3,5	-0,5	0,25
2	6	30000	94	4,4771	1,9731	7,0	7,0	0,0	0,00
3	6/1	3900	21	3,5911	1,3222	4,0	3,5	0,5	0,25
4	6/2	643	7	2,8082	0,8451	1,0	1,0	0,0	0,00
5	6/4	1900	17	3,2788	1,2304	2,0	2,0	0,0	0,00
6	7	12000	34	4,0792	1,5315	6,0	6,0	0,0	0,00
7	8	6000	25	3,7782	1,3979	5,0	5,0	0,0	0,00
8	Σ	—	—	—	—	—	—	—	0,50

Примітка. Тут і в табл. 2, 3: $Rw(U)_i$, $Rw(Th)_i$ – ранги; Σ – сума.

Оцінка КРКС $w(U)$ і $w(Th)$ першого рудного тіла становить:

$$r_{sUTh} = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n (Rw(U)_i - Rw(Th)_i)^2}{n \cdot (n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \cdot 0,50}{7 \cdot (7^2 - 1)} = 1 - 0,0089 \approx 0,99, \quad (1)$$

де r_{sUTh} – вибірковий КРКС $w(U)$ й $w(Th)$; n – кількість пар значень $w(U)$ й $w(Th)$, $Rw(U)_i$, $Rw(Th)_i$ – ранги відповідно значень $w(U)_i$ й $w(Th)_i$ (табл. 1).

Критичне значення коефіцієнта кореляції для рівня значущості 0,05 та обсягу вибірки в сім пар дорівнює:

$$r_{кр1} = \frac{\varphi_{(1-\alpha)}}{\sqrt{n-1}} = \frac{\varphi_{0,95}}{\sqrt{7-1}} = \frac{1,64}{2,4495} \approx 0,67, \quad (2)$$

де $r_{кр1}$ – критичне значення коефіцієнта кореляції для значень $w(U)$ і $w(Th)$; n – кількість пар значень $w(U)$ й $w(Th)$ (табл. 1); φ – значення оберненої функції нормального розподілу (за [Ван дер Варден, 1960]); α – рівень значущості.

Отримана оцінка r_{sUTh} вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ першого рудного тіла рудоносних альбітитів ВР (рівняння (1)) більша за відповідне критичне значення коефіцієнта кореляції $r_{кр1}$ (рівняння (2)); відповідно, кореляція зна-

чуша. За шкалою Чеддока тіснота статистичного зв'язку U й Th у першому рудному тілі класифікується як дуже висока. Результат оцінки КПКП відповідних значень $Igw(U)$ на $Igw(Th)$ ($\approx 0,98$) це підтверджує (рис. 1).

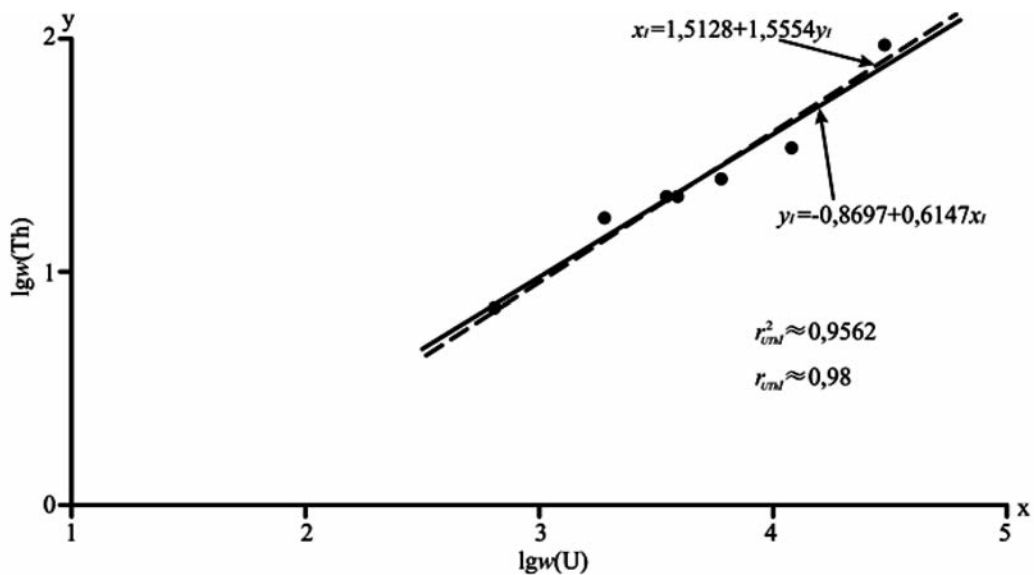


Рис. 1. Діаграма розсіювання десяткових логарифмів значень вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ в ХС проб рудних альбітитів першого рудного тіла (горизонт 542) ВР. Вихідні дані наведені в табл. 1. $y_i = -0,8697 + 0,6147x_i$ – ЛРР $lgw(Th)$ на $lgw(U)$; $x_i = 1,5128 + 1,5554y_i$ – ЛРР $lgw(U)$ на $lgw(Th)$. $r^2_{lgw} \approx 0,9562$ – оцінка КД $lgw(U)$ і $lgw(Th)$. $r_{lgw} \approx 0,98$ – оцінка КПКП $lgw(U)$ і $lgw(Th)$

Fig. 1. Scatter diagram of common logarithm's of determination of mass fractions U ($w(U)$) and Th ($w(Th)$) in the samples of albitites from the first ore body I (horizon 542) of the Vatutinka ore deposit. Source data are in the table 1. $y_i = -0,8697 + 0,6147x_i$ – linear regress equation (LGE) $lgw(Th)$ to $lgw(U)$; $x_i = 1,5128 + 1,5554y_i$ – LGE $lgw(U)$ to $lgw(Th)$. $r^2_{lgw} \approx 0,9562$ – estimation of determination coefficient (DC) $lgw(U)$ and $lgw(Th)$. $r_{lgw} \approx 0,98$ – estimation of coefficient Pearson's coefficient pair correlation (PCPC) $lgw(U)$ and $lgw(Th)$. Explanation – in the text

Результати вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ в ХС проб, які були відібрані з другого рудного тіла, значення відповідних lg та проміжні результати статистичної обробки наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Дані вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ в ХС проб з другого рудного тіла (горизонт 460) Ватутінського родовища і проміжні результати статистичної обробки

Table 2. Data of dimension $w(U)$ and $w(Th)$ in chemical composition of samples from the second ore body (horizon 460) of the Vatutinka ore deposit and intermediate results of statistic processing

№ з/п	№ проби	$w(U)_i$	$w(Th)_i$	$lgw(U)_i$	$lgw(Th)_i$	$Rw(U)_i$	$Rw(Th)_i$	$Rw(U)_i - Rw(Th)_i$	$(Rw(U)_i - Rw(Th)_i)^2$
1	3	5800	34	3,7634	1,5315	6,0	5,0	1,0	1,00
2	3/1	2800	26	3,4472	1,4150	5,0	4,0	1,0	1,00
3	4	73	11	1,8633	1,0414	2,0	1,0	1,0	1,00
4	4/1	1700	58	3,2304	1,7634	4,0	6,0	-2,0	4,00
5	4/2	32	18	1,5051	1,2553	1,0	3,0	-2,0	4,00
6	4/3	306	12	2,4857	1,0792	3,0	2,0	1,0	1,00
7	Σ	—	—	—	—	—	—	—	12,00

Оцінка КПКС $w(U)$ і $w(Th)$ другого рудного тіла становить:

$$r_{sUThII} = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n (Rw(U)_i - Rw(Th)_i)^2}{n \cdot (n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \cdot 12}{6 \cdot (6^2 - 1)} = 1 - 0,3429 \approx 0,66, \quad (3)$$

де r_{sUThII} – вибірковий КПКС $w(U)$ і $w(Th)$; n – кількість пар значень $w(U)$ й $w(Th)$; $Rw(U)_i$; $Rw(Th)_i$ – ранги, відповідно, значень $w(U)$ й $w(Th)$ (табл. 2).

Критичне значення коефіцієнта кореляції для рівня значущості 0,05 й обсягу вибірки в шість пар дорівнює:

$$r_{кр2} = \frac{\varphi_{(1-\alpha)}}{\sqrt{n-1}} = \frac{\varphi_{0,95}}{\sqrt{6-1}} = \frac{1,64}{2,2361} \approx 0,73, \quad (4)$$

де $r_{кр2}$ – критичне значення коефіцієнта кореляції для значень $w(U)$ і $w(Th)$; n – кількість пар значень $w(U)$ і $w(Th)$ (табл. 2); φ – значення оберненої функції нормального розподілу (за [Ван дер Варден, 1960]); α – рівень значущості.

Отримана оцінка r_{sUThII} вибірки значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в ХС другого рудного тіла рудоносних альбітитів ВР (рівняння (3)) менша за відповідне критичне значення коефіцієнта кореляції $r_{кр2}$ (рівняння (4)); відповідно, кореляція незна-

чуша. За шкалою Чеддока тіснота статистичного зв'язку U й Th у другому рудному тілі групи класифікується як помітна. Результат оцінки КПКП відповідних значень $Igw(U)$ і $Igw(Th)$ ($\approx 0,70$) це підтверджує (рис. 2).

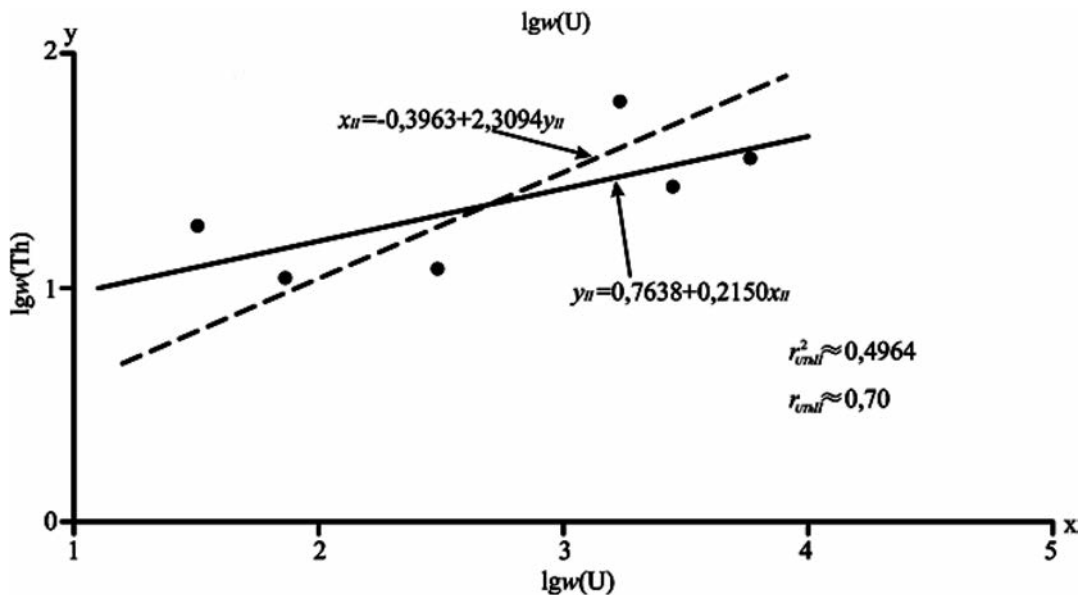


Рис. 2. Діаграма розсіювання десяткових логарифмів значень вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в ХС проб рудних альбітитів другого рудного тіла (горизонт 460) ВР. Вихідні дані наведені в табл. 2. $y_{II} = -0,7638 + 0,2150x_{II}$ – ЛПП $Igw(Th)$ на $Igw(U)$; $x_{II} = -0,3963 + 2,3094y_{II}$ – ЛПП $Igw(U)$ на $Igw(Th)$. $r_{снд}^2 \approx 0,4964$ – оцінка КД $Igw(U)$ і $Igw(Th)$. $r_{снд} \approx 0,70$ – оцінка КПКП $Igw(U)$ і $Igw(Th)$

Fig. 2. Scatter diagram of common logarithm's of determination $w(U)$ and $w(Th)$ in the samples of albitites from the second ore body (horizon 460) of the Vatutinka ore deposit. Source data are in the table 2. $y_{II} = -0,7638 + 0,2150x_{II}$ – LGE $Igw(Th)$ to $Igw(U)$; $x_{II} = -0,3963 + 2,3094y_{II}$ – LGE $Igw(U)$ to $Igw(Th)$. $r_{снд}^2 \approx 0,4964$ – estimation of DC $Igw(U)$ and $Igw(Th)$. $r_{снд} \approx 0,70$ – estimation of PCPC $Igw(U)$ and $Igw(Th)$. Explanation – in the text

Результати вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в ХС проб, які були відібрані з третього рудного тіла,

значення відповідних Ig та проміжні результати статистичної обробки наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Дані вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ в ХС проб з третього рудного тіла (горизонт 460) ВР і проміжні результати статистичної обробки

Table 3. Data of dimension $w(U)$ and $w(Th)$ in chemical composition of samples from the third ore body (horizon 460) of the Vatutinka ore deposit and intermediate results of statistic processing

№ з/п	№ проби	$w(U)_i$	$w(Th)_i$	$lgw(U)_i$	$lgw(Th)_i$	$Rw(U)_i$	$Rw(Th)_i$	$Rw(U)_i - Rw(Th)_i$	$(Rw(U)_i - Rw(Th)_i)^2$
1	1/1	40	13	1,6021	1,1139	1,5	1,0	0,5	0,25
2	1/2	1500	34	3,1761	1,5315	4,0	5,0	-1,0	1,00
3	1/3	662	24	2,8209	1,3802	3,0	4,0	-1,0	1,00
4	1/4	1700	21	3,2304	1,3222	5,0	3,0	2,0	4,00
5	1/5	10800	68	4,0334	1,8325	7,0	7,0	0,0	0,00
6	1/6	2600	52	3,4150	1,7160	6,0	6,0	0,0	0,00
7	1/7	40	15	1,6021	1,1761	1,5	2,0	-0,5	0,25
8	Σ	—	—	—	—	—	—	—	6,50

Оцінка КРКС $w(U)$ і $w(Th)$ третього рудного тіла вирахована так:

$$r_{sUThIII} = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n (Rw(U)_i - Rw(Th)_i)^2}{n \cdot (n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \cdot 6,50}{7 \cdot (7^2 - 1)} = 1 - 0,1161 \approx 0,88, \quad (5)$$

де $r_{sUThIII}$ – вибірковий КРКС $w(U)$ і $w(Th)$; n – кількість пар значень $w(U)$ і $w(Th)$, $Rw(U)_i$; $Rw(Th)_i$ – ранги, відповідно, значень $w(U)$ і $w(Th)$ третього рудного тіла (табл. 3).

Отримана оцінка $r_{sUThIII}$ значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ третього рудного тіла ВР (рівняння (5)) більша за відповідне критичне значення коефіцієнта кореляції $r_{кр1}$ (рівняння (2)); відповідно, кореляція значуща. За шкалою Чеддока тіснота статистичного

зв'язку U й Th третього рудного тіла класифікується як висока. Результат оцінки КПКП відповідних значень $lgw(U)$ і $lgw(Th)$ ($\approx 0,91$) (рис. 3) (він дещо вищий, ніж оцінка КРКС (рівняння 5)) це підтверджує.

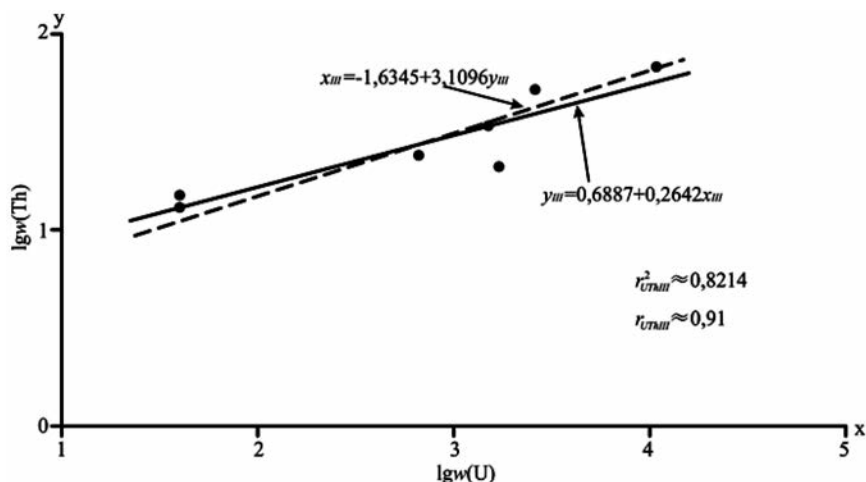


Рис. 3. Діаграма розсіювання десяткових логарифмів значень вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в ХС проб рудних альбітитів третього рудного тіла (горизонт 475) ВР. Вихідні дані наведені в табл. 3. $y_{III} = -0,6887 + 0,2642x_{III}$ – ЛРР $lgw(Th)$ на $lgw(U)$; $x_{III} = -1,6345 + 3,1096y_{III}$ – ЛРР $lgw(U)$ на $lgw(Th)$. $r^2_{UThIII} \approx 0,8214$ – оцінка КД $lgw(U)$ і $lgw(Th)$. $r_{UThIII} \approx 0,91$ – оцінка КПКП $lgw(U)$ і $lgw(Th)$

Fig. 3. Scatter diagram of common logarithm's of $w(U)$ and $w(Th)$ in the samples of albitites from the third ore body (horizon 475) of the Vatutinka ore deposit. Source data are in the table 3. $y_{III} = -0,6887 + 0,2642x_{III}$ – LGE $lgw(Th)$ на $lgw(U)$; $x_{III} = -1,6345 + 3,1096y_{III}$ – LGE $lgw(U)$ на $lgw(Th)$. $r^2_{UThIII} \approx 0,8214$ – estimation of DC $lgw(U)$ and $lgw(Th)$. $r_{UThIII} \approx 0,91$ – estimation of PCPC $lgw(U)$ and $lgw(Th)$. Explanation – in the text

Обговорення результатів

Результати вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в ХС проб багатих руд ураноносних альбітитів з глибоких горизонтів ВР (табл. 1-3) однозначно вказують на те, що в ХС «рудних» відмінностей лужних натрієвих метасоматитів $w(U)$ значно більше, ніж $w(Th)$, а в ХС «видатних» проб ця різниця разюча (табл. 1-3). Однак тенденція до збільшення у ХС $w(U)$ разом з $w(Th)$ виявлена в усіх трьох досліджених перетинах урановорудних альбітитів, що знайшло своє відображення у відповідних оцінках КРКС $w(U)$ і $w(Th)$ (рівняння (1), (3), (5)) та діаграм розсіювання $Igw(U)$ і $Igw(Th)$ (рис. 1-3). Найбільше визначення оцінки КРКС вибірки значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ (рівняння (1)) вираховано для вибірки найменш окиснених «рудних» альбітитів найглибшого дослідженого першого рудного тіла; відповідно, найменше – для альбітитів другого рудного тіла, що знаходиться найближче до поверхні (рівняння (3)). Проміжне значення займає оцінка КРКС значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ третього тіла (рівняння (5)). Це дає підставу для припущення про високий первинний зв'язок U і Th в рудних альбітитах, які розкриті на глибоких горизонтах ВР. Дані з вивчення ХС уранініту з проби № 6, яка була відібрана з «рудних» альбітитів першого рудного тіла [Бондаренко та ін., 2015], це підтверджують.

Отримані результати дослідження зв'язку U і Th в урановорудних альбітитах, які були розкриті на глибоких горизонтах ВР, докорінно відрізняються від оприлюднених раніше відомостей В.М. Обрізанова про відсутність кореляції між вказаними хімічними елементами в рудах цього родовища [Обрізанов, 1974]. Невідповідність отриманих результатів з визначення кореляції значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в «рудних» альбітитах ВР з даними В.М. Обрізанова ми пояснюємо, зокрема, використанням попередником при статистичних дослідженнях значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ у ХС проб переважно окиснених «рудних» альбітитів, які були відібрані з верхніх горизонтів родовища, хоча не виключена вірогідність дійсно відсутності ко-

реляції U і Th в рудах на верхніх горизонтах ВР. У той же час ці результати підтверджують один з висновків роботи [Михальченко, 2015], який було зроблено за результатами дослідження кореляції значень парних вимірів $w(U)$ і $w(Th)$ в торій-ураноносних альбітитах Новоолексіївського рудопрояву (ЦУУР), про правомірність розгляду цих хімічних елементів як парагенетичної асоціації в рудоносних лужних натрієвих метасоматитах.

Висновки

1. Оцінки коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена урану і торію в досліджених вибірках парних вимірів масових часток цих елементів у пробах «рудних» альбітитів з глибоких горизонтів ВР становлять: для першого рудного тіла – 0,99 (тіснота статистичного зв'язку – дуже висока); для другого – 0,66 (тіснота статистичного зв'язку – помітна); для третього – 0,88 (тіснота статистичного зв'язку – висока).

2. Дуже висока тіснота зв'язку урану й торію встановлена для найменш окиснених «рудних» альбітитів найглибшого першого рудного тіла; відповідно, помірна – для альбітитів другого (найближчого до поверхні землі) рудного тіла, які представлені окисненими різновидами. Це дає підґрунтя для припущення про порушення кореляції урану і торію в зонах окиснення уранових руд, які відбулися в результаті епігенетичних перетворень.

3. За наявними даними з'являється підстава для ствердження, що при утворенні «рудних» альбітитів, які зараз розкриті на глибоких горизонтах ВР, привнесення й осадження урану супроводжувалися також привнесенням і осадженням й торію, хоча концентрація цих елементів у тілах багатих руд відрізняється на декілька порядків.

Напрямок подальших досліджень

Пріоритетним завданням є отримання й залучення у статистичну обробку більшого обсягу значень парних вимірів $w(U)$ й $w(Th)$ у ХС «рудних» і «нерудних» альбітитів ВР; крім того, подальше дослідження ізотопного складу Pb, U і Th.

Список літератури / References

1. Бондаренко С.М., Степанюк Л.М., Іванов Б.Н., Сьомка В.О., Курило С.І., Грінченко О.В. Типоморфізм та вік уранініту з глибоких горизонтів Ватутінського родовища: *Матеріали*

Всеукр. наук.-практ. конф. "Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців", Кривий Ріг, 26-28 березня 2015 р. С. 122-127.

Bondarenko S.M., Stepanyuk L.M., Ivanov B.N., Somka V.O., Kurilo S.I., Grinchenko O.V., 2015. Typomorfizm and Age of pitchblende from deep horizon of the Vatutinka ore deposit. *Proceeding of the All-Ukrainian scientifically-practical conference "Current geological science and practice in the investigation of students and young specialists"*, Kryvyi Rig, March 26-28, 2015, p. 122-127 (in Ukrainian).

2. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. Москва: Изд-во иностр. литер., 1960. 435 с.

Van der Waerden B.L., 1960. *Mathematical statistics*. Moscow: Izdatelstvo inostrannoy literatury, 435 p. (in Russian).

3. Ворошилов В.Г. Математическое моделирование в геологии. Томск: Изд-во ТПУ, 2001. 124 с.

Voroshilov V.G., 2001. *Mathematical design in geology*. Tomsk: Izdatelstvo TPU, 124 p. (in Russian).

4. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б. Киев: Наукова думка, 1995. 396 с.

Genetic types and conformities to law of placing of uranium deposits of Ukraine, 1995 / Eds. Ya.N. Belevtsev, V.B. Koval. Kiev: Naukova Dumka, 396 p. (in Russian).

5. Иванов Б.Н., Занкевич Б.О., Михальченко И.И., Шафранська Н.В. Ураноносні натрієві метасоматити Ватутінського родовища (особливості мінерального складу і структурна позиція). *Геохімія та рудоутворення*. 2013. Вип. 33. С. 33-41.

Ivanov B.N., Zankevich B.O., Mihalchenko I.I., Shafpanska N.V., 2013. Ore-bearing albitites of the Vatutynka ore deposit, the Ukrainian shield (special feature of habit of mineral composition and structural position). *Geokhimiya ta rudoutvorenniya*, iss. 33, p. 33-41 (in Ukrainian).

6. Карлье Э. Методика количественной оценки месторождений урана. Москва: Атомиздат, 1966. 351 с.

Carlier E., 1966. *Methodology of quantitative estimate of uranium deposits*. Moscow: Atomizdat, 351 p. (in Russian).

7. Макивчук О.Ф., Попов Н.И., Обризанов В.Н., Сливинский В.А. История открытия Ватутинского месторождения урана на Украинском щите. *Материалы по геологии урановых месторождений*. Информ. сб. 1978. Вып. 49. С. 85-102.

Makivchuk O.F., Popov N.I., Obrizanov V.N., Slivinskii V.A., 1978. History of discovery of the Vatutinka uranium ore deposit, the Ukrainian shield. *Materialy po geologii uranovykh mestorozhdeniy*. *Informatsionnyy sbornik*, iss. 49, pp. 85-102 (in Russian).

8. Минеева И.Г., Голева Р.В., Копченнова Е.В., Шацкая В.Т., Березина Л.А., Железнова Е.И. По-

ведение урана, тория, бериллия в процессе формирования полевошпатовых метасоматитов с урановым и бериллиевым оруденением. *Материалы по геологии урановых месторождений*. Информ. сб. 1979. Вып. 54. С. 167-196.

Mineeva I.G., Goleva R.V., Kopchenova E.V., Shatskaia V.T., Berezina L.A., Zheleznova E.I., 1979. Behaviour of uranium, thorium, beryllium along the process of forming of feldspar metasomatites with uranium and beryllium ores. *Materialy po geologii uranovykh mestorozhdeniy*. *Informatsionnyy sbornik*, iss. 54, p. 167-196 (in Russian).

9. Минеева И.Г. Сравнительная геохимическая характеристика и типоморфные элементы полевошпатовых метасоматитов с урановой и бериллиевой минерализацией. *Материалы по геологии урановых месторождений*. Информ. сб. 1979. Вып. 54. С. 197-218.

Mineeva I.G., 1979. Comparative geochemical description and typomorphic elements of the feldspar metasomatites with uranium and beryllium mineralization. *Materialy po geologii uranovykh mestorozhdeniy*. *Informatsionnyy sbornik*, iss. 54, p. 197-218 (in Russian).

10. Михальченко И.И. Рівні концентрації урану в альбітитах Новокосянтинівського родовища, Український щит: Сб. тез. *Международ. науч. конф. «Актуальные проблемы поисковой и экологической геохимии»*. Киев: Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко, 2014. С. 146-148.

Mihalchenko I.I., 2014. Uranium concentration levels in albitites of Novokonstantinovka ore deposit, the Ukrainian shield. *Abstract of the international scientific conference «Topical problem of prospectal and ecological geochemistry»*. Kyiv, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, p. 146-148 (in Ukrainian).

11. Михальченко И.И. Статистичний зв'язок урану й торію в рудоносних альбітитах Новоолексієвського рудопрояву (Український щит). *Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту*. 2015. № 1. С. 36-41.

Mihalchenko I.I., 2015. Statistical relation between uranium and thorium of ore-bearing albitites Novoalekseevka ore deposit, the Ukrainian shield. *Naukovyy visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universitetu*, № 1, p. 36-41 (in Ukrainian).

12. Михальченко И.И. Структурна позиція формації лужних натрієвих метасоматитів Новоукраїнського масиву: автореф. дис. ... канд. геол. наук: спец. 04.00.01 – "Загальна та регіональна геологія". Київ, 2012. 20 с.

Mihalchenko I.I., 2012. Structural position of formation alkaline sodium metasomatites in the Novoukrainka massif. Cand. geol. sci. dis. Kyiv, 20 p. (in Ukrainian).

13. Невский В.А., Гинзбург А.И., Козлова П.С., Онтоев Д.В., Апрельцин Ф.Р., Куприянова И.И., Кудрин В.С., Эпштейн Е.М. Геология постмагматических ториево-редкометалльных месторождений. Москва: Атомиздат, 1972. 408 с.
- Nevskiy V.A., Ginsburg A.I., Kozlova P.S., Ontoev D.V., Apreltsin F.R., Kupriyanova I.I., Kudrin V.S., Epshtein E.M.*, 1972. Geology of post-magmatic thorium-rare-metal deposit. Moscow: Atomizdat, 408 p. (in Russian).
14. Обризанов В.Н. К вопросу о связи месторождений натрий-урановой формации с гранитами. *Информ. бюл.* 1976. № 28. С. 4-18.
- Obrizanov V.N.*, 1976. Relationship Albitite-Type Uranium deposits with granite. *Informatsionnyy bulletin*, N 28, p. 4-18 (in Russian).
15. Обризанов В.Н. Основные черты геохимии Ватутинского месторождения урана и некоторые проблемы натриевого метасоматоза: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: спец. 04.00.02 – "Геохимия". Березовка, 1974. 27 с.
- Obrizanov V.N.*, 1974. Basic features of the geochemistry of Vatutinka uranium deposit and some problems of sodium metasomatites. Cand. geol.-mineral. sci. dis. Berezovka, 27 p. (in Russian).
16. Сизова Т.М. Статистика. Санкт Петербург: СПб ГУИТМО, 2005. 80 с.
- Sizova T.M.*, 2005. Statistics. St. Petersburg: SPb GUITMO, 80 p. (in Russian).
17. Тарханов А.В., Петрин А.В., Козырьков В.Д., Орлова Л.А., Игнатов В.Б., Преображенский А.Н. Уран-редкоземельно-фосфатные руды Жёлтореченского месторождения. *Специальные вопросы атомной науки и техники. Сер.: Геология и горное дело. Науч.-техн. сб.* 1990. Вып. 2. С. 3-11.
- Tarkhanov A.V., Petrin A.V., Kozyrkov V.D., Orlova L.A., Ignatov V.B., Preobrazhenskii A.N.*, 1990. Uranium-rare-earth-phosphatic ore of Geltoretchka deposit. *Spetsialnye voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Ser.: Geologia i gornoe delo. Nauchno-tekhnicheskii sbornik*, iss. 2, p. 3-11 (in Russian).
18. Качёв Ю.А., Юдович Я.Э. Статистическая обработка геохимических данных. Методы и проблемы. Ленинград: Наука, Ленинград. отделение, 1975. 233 с.
- Tkachev U.A., Yudovich Ya.E.*, 1975. Statistical processing of geochemical data. Methods and problems. Leningrad: Nauka, Leningradskoe otdelenie, 233 p. (in Russian).
19. Ферсман А.Е. Геохимия России. Вып. I. Петроград: Науч. хим.-техн. изд-во, 1922. 212 с.
- Fersman A.E.*, 1922. Geochemistry of Russia. Iss. I. Petrograd: Nauchnoe khimiko-tekhnicheskoe izdatelstvo, 212 p. (in Russian).
20. Фомин Ю.А. Торий в урановорудных албититах Кировоградского мегаблока. *Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколишнього середовища НАН України.* 2013. Вип. 22. С. 144-160.
- Fomin Yu.A.*, 2013. Thorium in the uranium-ore albitites of Kirovograd block. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu Heokhimiyy Navkolyshnyoho Seredovyshcha NAN of Ukraine*, iss. 22, p. 144-160 (in Russian).
21. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев: Наукова думка, 2008. 240 с.
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko A.N., Shumlyanskiy L.V.*, 2008. Geochronology of early Precambrian of the Ukrainian shield. Proterozoic. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
22. *Gauss Carolo Frederico*. Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium. Hamburgi sumtibus Frid. Perthes et I. H. Besser, 1809. 228 p.
- Gauss Carolo Frederico*, 1809. Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium, Hamburgi sumtibus Frid. Perthes et I. H. Besser, 228 p. (in Latin).
23. *Legendre A.M.* Nouvelles Méthodes pour la Détermination des Orbites des Comètes. Paris: Chez Firmin Didot, Libraire pour les Mathématiques, la Marine, l'Architecture, et les Éditions stéréotypes, rue de Thionville, n°116, 1805. 290 p.
- Legendre A.M.*, 1805. Nouvelles Méthodes pour la Détermination des Orbites des Comètes. Paris: Chez Firmin Didot, Libraire pour les Mathématiques, la Marine, l'Architecture, et les Éditions stéréotypes, rue de Thionville, n°116, 290 p. (in French).
24. *Spearmen C.* The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology*. 1904. Vol. 15, № 1. P. 72-101. Available at: <http://www.jstor.org>.
- Spearmen C.*, 1904. The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology*, vol. 15, № 1, p. 72-101. Available at: <http://www.jstor.org> (in English).
25. *Wilde Andy*. Towards a Model for Albitite-Type Uranium. *Minerals*. 2013. № 3. P. 36-48.
- Wilde Andy*, 2013. Towards a Model for Albitite-Type Uranium. *Minerals*, № 3, p. 36-48 (in English).

Стаття надійшла
01.09.2015

ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИПОВЕРХНЕВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ НА РОТМІСТРОВСЬКІЙ ІМПАКТНІЙ СТРУКТУРІ З МЕТОЮ ВИВЧЕННЯ ЇЇ ГЕОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

В.Г. Семенюк

(Рекомендовано акад. НАН України П.Ф. Гожиком)

Компанія «Смарт Енерджи», Київ, Україна, E-mail: v.semenuk@ukrgv.com

Головний геолог компанії «Смарт Енерджи».

Проведено комплекс приповерхневих структурно-геологічних, термометричних і атмогеохімічних досліджень (СТАГД) з метою вивчення структурно-геологічної будови і газонасності Ротмістрівської імпактної структури. Вперше виконано дешифрування космічних знімків району знаходження структури, що дозволило внести уточнення щодо її будови. Комплексом польових, лабораторно-аналітичних та камерально-тематичних робіт встановлені характеристики температурних і газогеохімічних полів. На основі кореляційного аналізу взаємозв'язків між компонентами визначених газів виділені перспективні ділянки на пошуки скупчень вуглеводнів.

Ключові слова: СТАГД, Ротмістрівська імпактна структура, вуглеводні.

IMPLEMENTATION OF SUBSURFACE INVESTIGATION METHODS ON ROTMISTROVKA IMPACT CRATER IN ORDER TO STUDY ITS GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES

V.G. Semenuk

(Recommended by academician of NAS of Ukraine P.F. Gozhik)

LLC «Smart Energy», Kiev, Ukraine, E-mail: v.semenuk@ukrgv.com

Chief geologist of LLC «Smart Energy».

In order to study the geological structure of Rotmistrovka impact crater and presence of gas within it, the complex of structural-thermo-atmogeochemical research (STAGR) was conducted. For the first time satellite image interpretation of impact crater area was carried out that make it possible to clarify its structure. Applying of the complex of field, laboratory and analytical works provides identifying of thermo-atmogeochemical characteristics of fields. Based on the correlation analysis of the relationship between the components of certain gases, promising areas in search of hydrocarbon accumulations was allocated.

Key words: STAGR, Rotmistrovka impact crater, hydrocarbons.

ВНЕДРЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РОТМИСТРОВСКОЙ ИМПАКТНОЙ СТРУКТУРЕ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ЕЕ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

В.Г. Семенюк

(Рекомендовано акад. НАН Украины П.Ф. Гожиком)

Компанія «Смарт Енерджи», Київ, Україна, E-mail: v.semenuk@ukrgv.com

Главный геолог компании «Смарт Енерджи».

© В.Г. Семенюк, 2016

Проведен комплекс приповерхностних структурно-геологічних, термометричних і атомогеохімічних досліджень (СТАГИ) з метою вивчення структурно-геологічного строєння і газоносності Ротмістровської імпактної структури. Вперше виконано дешифрування космічних знімків району знаходження структури, що дозволило внести уточнення по її строєнню. Комплексом польових, лабораторно-аналітичних і камерально-тематических робіт установлені характеристики температурних і газогеохімічних полів. На основі кореляційного аналізу взаємозв'язей між компонентами определєнних газів виділені перспективні учаски на пошуки скоплєнь углеводородів.

Ключевые слова: СТАГИ, Ротмістровська імпактна структура, углеводороди.

Постановка проблеми

Ротмістрівська імпактна структура входить до переліку семи утворєнь такого типу, відомих на території України (рис. 1). Впродовж останніх 50 років вона неодноразово привертала увагу як об'єкт, де встановлені поклади горючих сланців [Михайлов, Чепиль, 2012; Михайлов, 2013]. Не виключено, що в структурі можуть бути виявлені

скупчення вуглеводнів (ВВ) практичного значення. Незважаючи на тривалий час вивчення, залишається значна кількість питань, що стосуються геологічної будови та газогеохімічних особливостей імпактних структур, зокрема і Ротмістрівської структури.

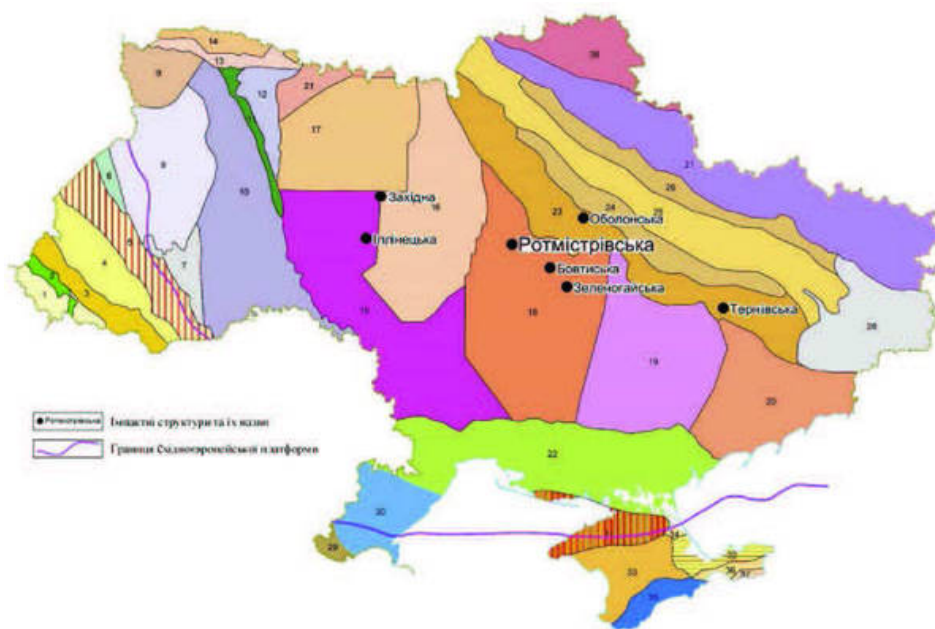


Рис. 1. Схема розташування відомих імпактних структур у межах території України на основі «Схеми тектонічного районування України» (С.С. Круглов, 2007 р.), м-б 1:6 000 000

Карпатський меганапнорій (1-5): 1 – Закарпатський внутрішній прогин, 2 – Вигорлат-Гутинська вулканогенна зона (гряди); 3 – Мармароський масив, зона Скель і внутрішні флішеві покриви; 4 – зона Кросно та Скибовий покрив; 5 – Передкарпатський прогин; Західноєвропейська платформа: 6 – Рава-Руська епіорогенна зона; Східноєвропейська платформа (7-27): Волино-Подільська плита (7-14), 7 – Боянецький прогин; 8 – Львівський палеозойський прогин; 9 – Ковельський виступ; 10 – Волино-Подільська монокліналь; 11 – Волинські трапи; 12 – Волино-Поліський прогин; 13 – Північноукраїнська горстова зона; 14 – Поліська сідловина; Український щит (15-21), мегаблоки: 15 – Дністровсько-Бузький, 16 – Росинсько-Тікицький, 17 – Волинський, 18 – Кіровоградський, 19 – Середньопридніпровський, 20 – Приазовський, 21 – Волино-Поліський плутонічний пояс; Південноукраїнська монокліналь (22); Дніпровсько-Донецька западина (23-27): 23 – Південна бортова зона; 24 – Південна прибортова зона; 25 – Центральна зона; 26 – Північна прибортова зона; 27 – Північна бортова зона; Складчастий Донбас (28); Скіфська епіорогенна зона (29-34): 29 – Нижньопрутецький виступ; 30 – Переддобрудзький прогин; 31 – Каркінітський прогин; 32 – Індольський прогин; 33 – Центральнокримське підняття; 34 – Азовський вал; Кримський меганапнорій (35-37): 35 – Таврійський та Яйлинський тектонічні покриви; 36 – Владиславівський тектонічний покрив; 37 – Краснопільський тектонічний покрив; Воронежський масив (38)

Як западина в кристалічному фундаменті (5x2 км) структура була виявлена під час проведення великомасштабного геологічного картування (В.К. Рябчун, Н.Ф. Піддубник, 1961 р.). Пошуково-розвідувальні роботи на горючі сланці дозволили значно уточнити будову структури, потужність і літолого-фаціальний склад осадової товщі, що виповнює западину, в тому числі і покладів горючих сланців (В.К. Грабовський, 1968 р.). В.Л. Масайтис визначив Ротмістрівську структуру як вибуховий кратер (1976-1980 рр.) [Масайтис, Данилин, Карпов, 1976; Масайтис, Данилин, Мащак, 1980]. Такої ж думки дотримувалися А.А. Вальтер, В.А. Рябенко, В.А. Голубев [Вальтер, Рябенко, 1977]. Детальний опис Ротмістрівської структури викладено в роботах Є.П. Гурова [Гуров, Гожик, 2006], В.А. Михайлова (2010-2012 рр.). Нові дані про положення структури в структурно-тектонічному каркасі одержані К. Ткаченко в 2010 р. при проведенні середньомасштабного геологічного довивчення аркушу М-36-XXVI (Сміла).

За даними геологічного картування район знаходження Ротмістрівської структури ха-

рактеризується двоповерховою геологічною будовою. Нижній, докембрійський поверх складений породними комплексами кристалічного фундаменту; верхній – утвореннями мезокайнозойського осадового чохла.

Площа проведених досліджень і розташування Ротмістрівської структури виділена в межах Новоукраїнського блоку 1-го рангу, який входить до складу Інгульського мегаблоку кристалічного фундаменту (рис. 2). Основу геологічної будови блоку складають породи Корсунь-Новомиргородського плутону (масиви рапаківігранітів і габро-анортозитів). Рапаківігранітні масиви характеризуються слабодиференційованими магнітними і гравітаційними полями. Більш складні фізичні поля утворюють породи габро-анортозитової формації. Широке розповсюдження мають тектонічні порушення: як головні (Томашівсько-Галещинський та ін.), так і другорядні, локальні. Потужні розломи протяжністю до 20-30 км фіксуються за градієнтами фізичних полів та зонами тріщинуватості, катаклазу і мілонітизації.

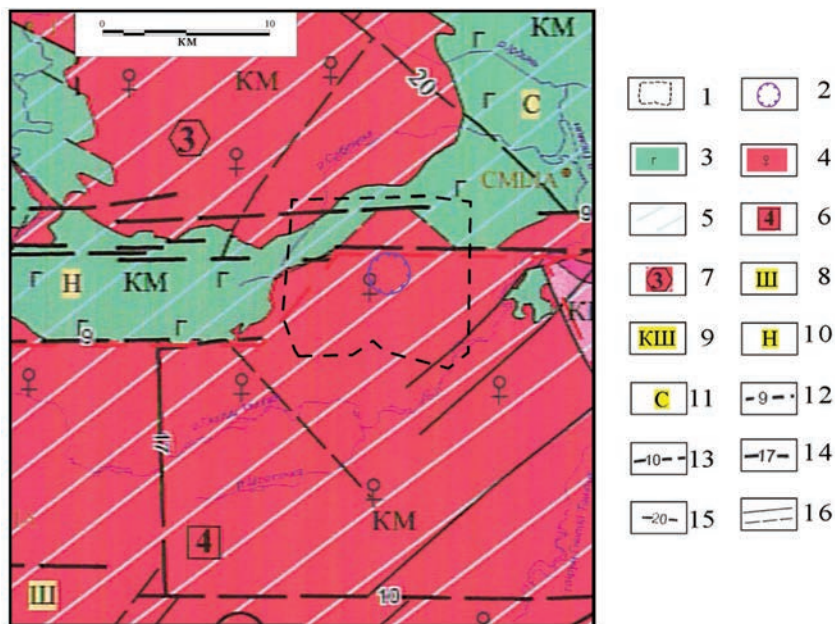


Рис. 2. Схема розташування ділянки досліджень на основі «Тектонічної схеми кристалічного фундаменту». Аркуш М-36-XXVI (К. Ткаченко, 2010 р.)

1 – ділянка досліджень; 2 – Ротмістрівська імпактна структура. Формації: 3 – габро-анортозитова, 4 – рапаківігранітна. Структурно-тектонічне районування: 5 – Інгуло-Інгулецька структурно-формаційна зона, Кіровоградська підзона. Тектонічні блоки першого рангу: 6 – Новоукраїнський; другого рангу: 7 – Корсунь-Шевченківський. Масиви інтрузивних та ультраметаморфічних порід, що входять до складу Корсунь-Новомиргородського плутону. Рапаківігранітні масиви: 8 – Шполянський, 9 – Корсунь-Шевченківський; габро-анортозитові масиви: 10 – Носачівський, 11 – Смілянський. Тектонічні порушення. Головні розломи: 12 – Тимошівсько-Галещинський (Тарасівський), 13 – Шполянський, 14 – Осьовий; другорядні: 15 – Ірдинський. 16 – Локальні розломи

Верхній структурний поверх представлений осадовими утвореннями мезозою і кайнозою, які майже повністю перекривають нижній структурний поверх. Границі розповсюдження окремих стратиграфічних підрозділів і осадових формацій часто контролюються різнонаправленими розломами, з лінійними опусканнями і підняттями, палеодепресіями.

В будові Ротмістрівської імпаکتної структури виділяють кратер і корінний вал (за даними дешифрування космічних знімків).

Кратер має більш-менш ізометричну форму (рис. 3). Максимальна глибина кратера – (350 ± 50) м. Він утворений в рапаківігранітах Корсунь-Новомиргородського плутону і виділяється в межах відносно спокійного гравітаційного поля за негативною аномалією інтенсивністю $11,2$ мГал на тектонічному порушенні широтного простягання. В аномальному магнітному полі Ротмістрівська структура не проявлена.

Осадова товща, що виповнює кратер, представлена пісками, глинами, крейдою, галогенними та сутигенними брекчіями, прошарками бітумінозних горючих сланців потужністю $0,2-2,8$ м. За різними оцінками прогнозні ресурси сланцевого газу Ротмістрівської структури (западни) за вмістом вільних ВВ $2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ можуть сягати $3,2$ млрд м^3 [Михайлов, Чепиль, 2012; Михайлов, 2013].

Польові роботи проведені в 2014 р. на площі $40,63 \text{ км}^2$ в площовому варіанті з кроком $1 \times 1 \text{ км}$ (рис. 4). Спостереження та виміри виконані на 89 пунктах. Під час польових робіт проведено:

- термометричні дослідження;
- еманційні дослідження (радон, торон);
- газогеохімічні дослідження за воднем, гелієм, вуглекислим газом;
- газогеохімічні дослідження за вільними ВВ.

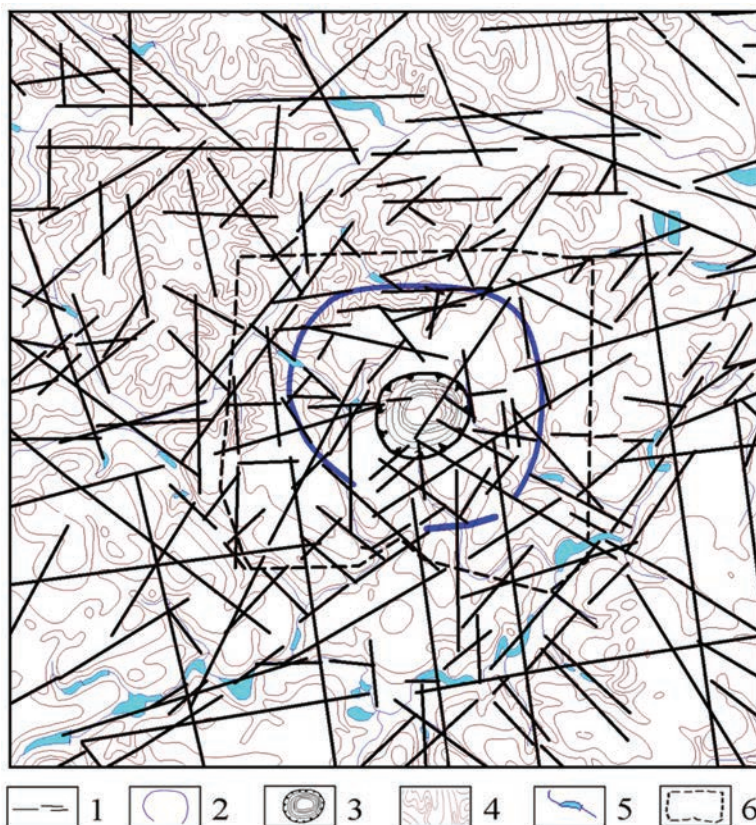


Рис. 3. Схема дешифрування матеріалів космічних зйомок району розташування Ротмістрівської структури

1 – лінеamenti; 2 – кільцева структура; 3 – кратер Ротмістрівської імпактної структури (всередині кратера – ізогіпси поверхні кристалічного фундаменту); 4 – ізогіпси сучасного рельєфу; 5 – водотоки та водойми; 6 – контур ділянки досліджень



Рис. 4. Схема просторового розподілу пунктів спостереження СТАГД (на топографічній основі масштабу 1:100 000)

1 – контур ділянки досліджень; 2 – пункти спостережень та їх номери; 3 – геолого-геохімічні профілі та їх номери; 4 – свердловини та їх номери; 5 – кратер Ротмістрівської імпаکتної структури; 6 – кільцева структура

В лабораторних умовах виконано хроматографічний аналіз відібраних атмогеохімічних проб на метан, етан, етилен, пропан, пропілен, ізобутан, бутан, ізопентан.

Роботи проведено за методикою, розробленою у відділі геоекології та пошукових досліджень Інституту геологічних наук НАН України та впровадженою в різних регіонах України при виконанні пошуків і розвідці різних видів корисних копалин [Багрій, 2013; Багрій, 2015].

Газогеохімічні дослідження за вуглекислим газом, гелієм і воднем

Вуглекислий газ (CO₂). В цілому, аномальні значення газу збігаються з ділянками підвищених значень радону, але найбільш інтенсивні аномалії вуглекислого газу встановлені на тих ділянках, де вміст радону в його аномаліях зменшується.

Водень (H₂). Дещо підвищений вміст водню (вище чутливості приладу) визначено лише у восьми пунктах спостережень, які знаходяться в північно-західній частині ділянки досліджень: чотири пункти за межами Ротмістрівської структури, а ще чотири – між кратером і кільцевою структурою. В цій же частині ділянки досліджень картується перетин головних тектонічних порушень.

Гелій (He). Значення вмісту у підґрунтового повітрі гелію визначено (вище чутливості приладу) у семи пунктах спостережень, в трьох із них зареєстровано розлом з воднем у північно-західній частині ділянки досліджень. У двох пунктах гелій визначено у східній частині ділянки, де, можливо, його дещо підвищений вміст обумовлений впливом кільцевої структури.

Геохімічні дослідження за вільними ВВ

В межах ділянки досліджень визначався вміст у підґрунтовому повітрі таких газів: метану (CH_4), етану (C_2H_6), пропану (C_3H_8), ізобутану (iC_4H_{10}), бутану (nC_4H_{10}), ізопентану (iC_5H_{12}), пентану (C_5H_{12}), гексану (C_6H_{14}), ненасичених ВВ – етилену (C_2H_4) і пропілену (C_3H_6) (рис. 5).

Розподіл аномальних показників етану, пропану та ізобутану, в цілому, збігається з просторовим положенням аномалій метану. В той же час варто звернути увагу на інтенсивну аномалію ізобутану в північно-західній частині ділянки, яка простежується за межами кільцевої структури.

В окрему групу виділяються аномалії бутану, ізопентану, пентану, гексану. Вони збігаються між собою і мають однакові особливості просторового розподілу, подібного до розподілу ізобутану. Розподіл ненасичених ВВ – етилену та пропілену – збігається з розподілом бутанів і гексанів.

За результатами аналізу розподілу характеристик та показників вмісту вільних ВВ у підґрунтовому повітрі побудовано комплект карт як по окремих ВВ, так і за розподілом показників вмісту суми ВВ (рис. 7). Такий показник визначається як сума вмістів вуглеводневих газів – від етану до гексану (метан

у показник суми ВВ не включається). Така карта дозволяє виділяти ділянки, слабо проникні для вуглеводневих газів, або ділянки, де концентрація похідних метану найвища.

Кореляційний аналіз

Після проведення детального аналізу комплексу температурних і атмогеохімічних показників СТАГД було виконано кореляційний аналіз і розраховано коефіцієнт парної кореляції для визначення взаємозв'язку між показниками (за допомогою програми Excel, модуля «Аналіз даних» функції «Кореляція»).

Значущість коефіцієнта кореляції залежить від кількості відібраних і проаналізованих проб (N) та рівня значущості (α), який обирає дослідник. Так, при $N = 89$ (кількість пунктів спостережень і відібраних проб на ділянці СТАГД) та $\alpha = 0,001$ зв'язок є значущим, якщо $0,34 \leq |K_i|$, середнім – $0,26 \leq |K_i| < 0,34$, слабким – $0,21 \leq |K_i| < 0,26$. Знак коефіцієнта парної кореляції вказує на позитивний чи негативний взаємозв'язок між показниками. У випадку позитивного – при збільшенні одного показника зростає і другий, від'ємного – при зростанні одного показника інший зменшується.

Виходячи з розрахованих коефіцієнтів парної кореляції (див. таблицю), встановлено,

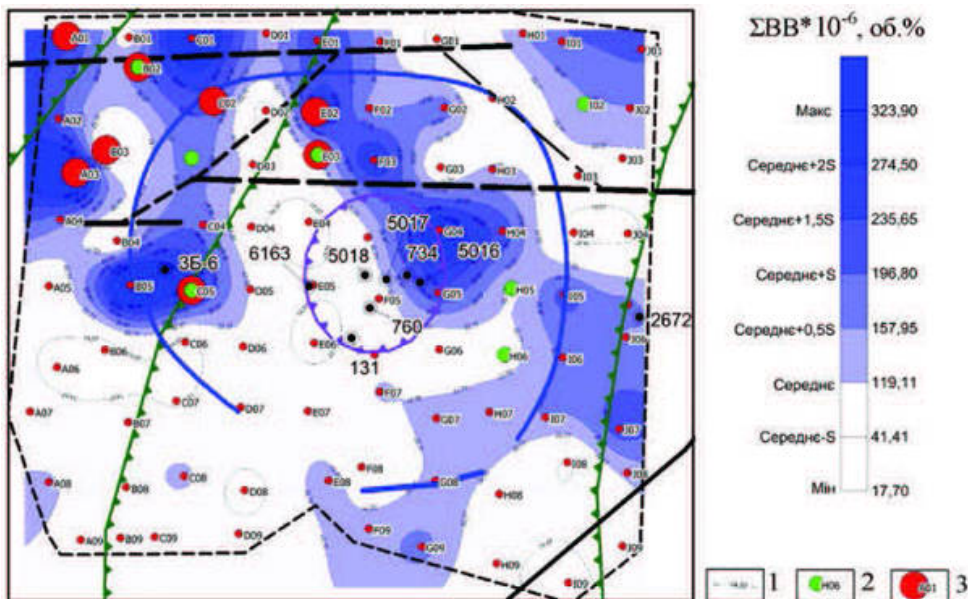


Рис. 5. Схема просторового розподілу показників вмісту суми важких ВВ (етану, пропану, ізобутану, бутану, ізопентану, пентану, гексану, етилену, пропілену) у підґрунтовому повітрі

1 – ізолінії показників вмісту радону; пункти спостережень, в яких у підґрунтовому повітрі встановлені аномальні значення вмісту: 2 – гелію, 3 – водню

Результати кореляційного аналізу даних СТАГД

	T, °C	QRn	QTn	CO ₂	CH ₄ E-5	C ₂ H ₆ E-6	C ₂ H ₄ E-6	C ₃ H ₈ E-6	iC ₄ H ₁₀ E-6	nC ₄ H ₁₀ E-6	C ₃ H ₆ E-6	iC ₅ H ₁₂ E-6	nC ₅ H ₁₂ E-6	nC ₆ H ₁₄ E-6
T, °C	1,00													
QRn	-0,23	1,00												
QTn	-0,16	0,80	1,00											
CO ₂	-0,02	0,46	0,35	1,00										
CH ₄ E-5	0,01	-0,34	-0,41	-0,40	1,00									
C ₂ H ₆ E-6	-0,03	0,06	-0,08	-0,06	0,70	1,00								
C ₂ H ₄ E-6	-0,07	-0,33	-0,31	-0,23	0,52	0,66	1,00							
C ₃ H ₈ E-6	-0,05	-0,07	-0,15	-0,09	0,71	0,94	0,80	1,00						
iC ₄ H ₁₀ E-6	-0,09	-0,32	-0,31	-0,24	0,57	0,61	0,96	0,80	1,00					
nC ₄ H ₁₀ E-6	-0,10	-0,31	-0,29	-0,24	0,54	0,59	0,95	0,77	0,99	1,00				
C ₃ H ₆ E-6	-0,06	-0,32	-0,28	-0,23	0,48	0,65	0,98	0,79	0,93	0,91	1,00			
iC ₅ H ₁₂ E-6	-0,15	-0,32	-0,30	-0,23	0,50	0,59	0,97	0,77	0,98	0,98	0,94	1,00		
nC ₅ H ₁₂ E-6	-0,21	-0,33	-0,30	-0,24	0,46	0,55	0,92	0,72	0,93	0,92	0,90	0,96	1,00	
nC ₆ H ₁₄ E-6	-0,18	-0,31	-0,29	-0,20	0,49	0,58	0,96	0,76	0,97	0,97	0,94	0,99	0,96	1,00

0,21 < K < 0,26	Слабка кореляція (α=0,5)
0,26 < K < 0,34	Середня кореляція (α=0,01)
K > 0,34	Сильна кореляція (α=0,001)

що взаємозв'язок між радоном, тороном і вуглекислим газом значущий позитивний ($K_{Rn-Tn} = 0,8$; $K_{Rn-CO_2} = 0,46$; $K_{Tn-CO_2} = 0,35$). Радон і торон має середній від'ємний кореляційний зв'язок з усіма вуглеводневими газами, крім етану і пропану, а вуглекислий газ – слабкий. За допомогою радону, торону і вуглекислого газу найбільш впевнено фіксуються геодинамічно активні зони. Від'ємний коефіцієнт з вуглеводневими газами свідчить, що зі зростанням вмісту еманційних газів або вуглекислого газу концентрація вуглеводневих газів зменшується. Торон і вуглекислий газ значущо негативно, а радон середньо негативно корелюють з метаном.

Всі вуглеводневі гази значущо позитивно корелюють один з одним; при цьому чим вище вміст вуглекислого газу, тим більші значення коефіцієнта парної кореляції. Тобто, якщо легкі ВВ можуть мати різні джерела походження, то важкі і насичені ВВ мігрують по одних каналах і мають одне джерело надходження.

Профільні дослідження

З метою кореляції даних термометричних і атмогеохімічних досліджень зі структурами

і складом геологічного розрізу та обґрунтування інтерпретації результатів СТАГД побудовані геолого-геохімічні профілі. Положення профілю I-I по відношенню до структур кристалічного фундаменту, пробурених свердловин і пунктів спостережень СТАГД відображено на рис. 4. Субширотний профіль розміщений таким чином, щоб була можливість охарактеризувати результати СТАГД за межами Ротмістрівської структури на прилеглих ділянках, а також розглянути геолого-геохімічні особливості самої імпактної структури (можливого корінного валу і кратера).

В якості геологічної основи використані матеріали середньомасштабного картування аркушу М-36-ХУІ (Сміла) (К. Ткаченко, 2010 р.).

При побудові геолого-геохімічного профілю I-I пункти спостережень і свердловини, через які профіль не проходить, були через графічні побудови знесені на профіль, що дозволило одержати максимальну інформацію.

З метою більш детального аналізу побудовано два додаткових профілі (рис. 6, 7). На рис. 6 відображені графіки розподілу даних температурних, еманційних (радон, гелій,

вуглекислий газ), на рис. 7 – графіки розподілу вуглеводневих газів. При побудові графіків використано такі розрахункові статистичні показники: мінімальне, середнє $-S$, середнє, середнє $+0,5S$, середнє $+S$, середнє $+1,5S$, середнє $+2S$, середнє $+3S$ (S – стандартне відхилення). Шкала показників розрахована від мінімальних значень до середніх $+3S$; якщо показник перевищував середнє $+3S$, то графік виходить за межі шкали. Середнє і стандартне відхилення розраховані для всіх 89 пунктів спостережень СТАГД.

На графіках для всіх показників використана шкала однакової висоти, незалежно від діапазону його коливання. Наприклад, висота шкали радону 2 см при коливанні від 0 до 16 Бк/м³, висота шкали вуглекислого газу 2 см при коливанні показника від 0 до 2,5 об.%, висота шкали гексану 2 см при коливанні показника від $20 \cdot 10^{-6}$ до $100 \cdot 10^{-6}$ об.%. Така побудова графіка дозволяє оцінити підвищення або зменшення показника відносно значень на сусідніх пунктах спостереження, але не дає змогу визначити, на скільки змінюється показник відносно розрахованих фонових, надфонових і аномальних значень на всій площі досліджень. Для з'ясування, на скільки показник перевищує середнє, середнє $+0,5S$, середнє $+S$, середнє $+1,5S$, середнє $+2S$, середнє $+3S$, а для деяких показників – середнє $-S$, на шкалах показників проведені горизонтальні лінії, що відповідають визначеним значенням.

Згідно з побудовами на рис. 6, показники вмісту радону і торону над Ротмістрівською структурою не перевищують середнє $+2S$, тобто контрастні аномалії відсутні. Підвищені значення радону відмічаються в трьох пунктах спостережень, один із яких знаходиться в центральній частині кратера. Підвищені значення вмісту торону також відмічаються лише в окремих пунктах, в основному за межами кратера. Але ці значення зменшуються на схід від пунктів підвищених значень радону. З досвіду досліджень відомо, що зміщення аномалій торону відносно аномалій радону фіксуються над похилими тектонічними порушеннями.

Показники вмісту вуглекислого газу відмічені у двох пунктах спостережень, вони значно перевищують середнє $+3S$ і збігаються з підвищеними значеннями радону.

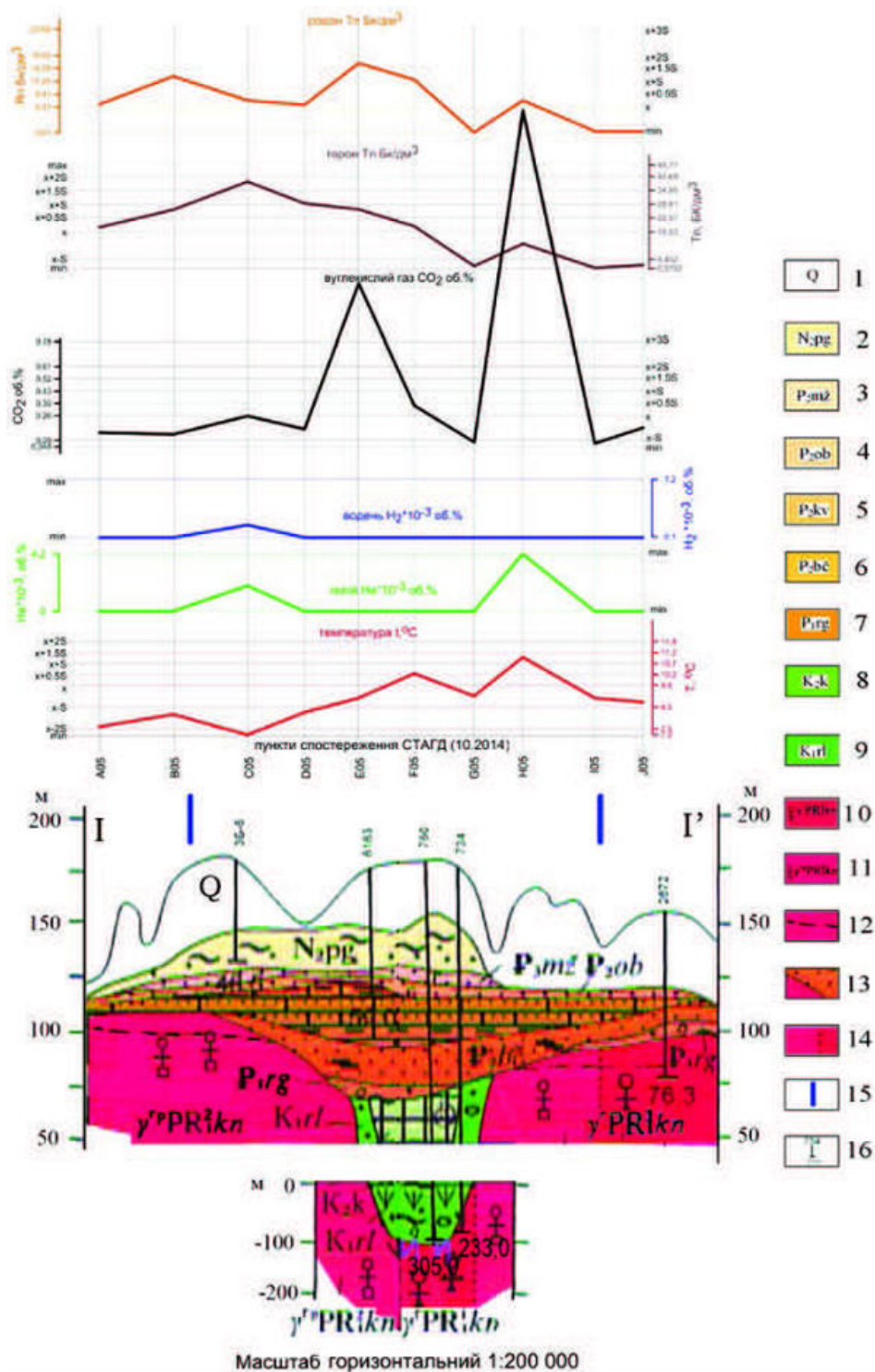
Надфоновий вміст водню встановлено в одному пункті спостережень, а гелію – в двох пунктах, які розташовані між кільцевою структурою і кратером.

Показники температури мають складний характер розподілу. Підвищені значення (до середнього $+3S$) зафіксовані в східній частині кратера, де вони збігаються з аномальними значеннями вуглекислого газу. В західній частині структури інтенсивність температурного поля значно менша.

Таким чином, за еманацияними (радон, торон) і газогеохімічними показниками (вуглекислий газ, водень, гелій) кратер Ротмістрівської структури не виділяється. Окремі аномальні значення газів тяжіють до західного і східного крил структури і фіксуються в основному між кратером і кільцевою структурою. Характер їх просторового розподілу і межі свідчать про геодинамічну активність цих частин структури і наявність зон тріщинуватості або окремих тектонічних порушень.

Розподіл показників вмісту ВВ на геолого-геохімічному профілі (рис. 7) також різний. На західному крилі імпактної структури зафіксовані підвищені значення (до середнього $+2S$ і середнього $+3S$) метану, етану, пропану, при менш значних показниках інших вуглеводневих газів. В межах східного крила відмічаються аномальні значення (середнє $+3S$) насичених (ізобутану, бутану, ізопентану, пентану, гексану) та ненасичених (етилену, пропілену) вуглеводневих газів. Аномалії пов'язані з тією частиною структури, яка знаходиться між кратером і корінним валом (?) або прилягає до зовнішньої частини останнього. Над кратером підвищення вуглеводневих показників не встановлено, лише в окремих пунктах визначені низькоконтрастні аномалії ВВ над північним краєм кратера.

Таким чином, за розподілом показників СТАГД на геолого-геохімічному профілі I-I західне і східне крила Ротмістрівської структури мають свої особливості. На східному крилі фіксуються підвищені значення усіх вуглеводневих газів і збіг аномалій радону, торону і вуглекислого газу, на західному – аномалії торону зменшені по відношенню до аномалій радону, практично відсутній вуглекислий газ, а з вуглеводневих газів аномальними значеннями відзначаються метан, етан, пропан.



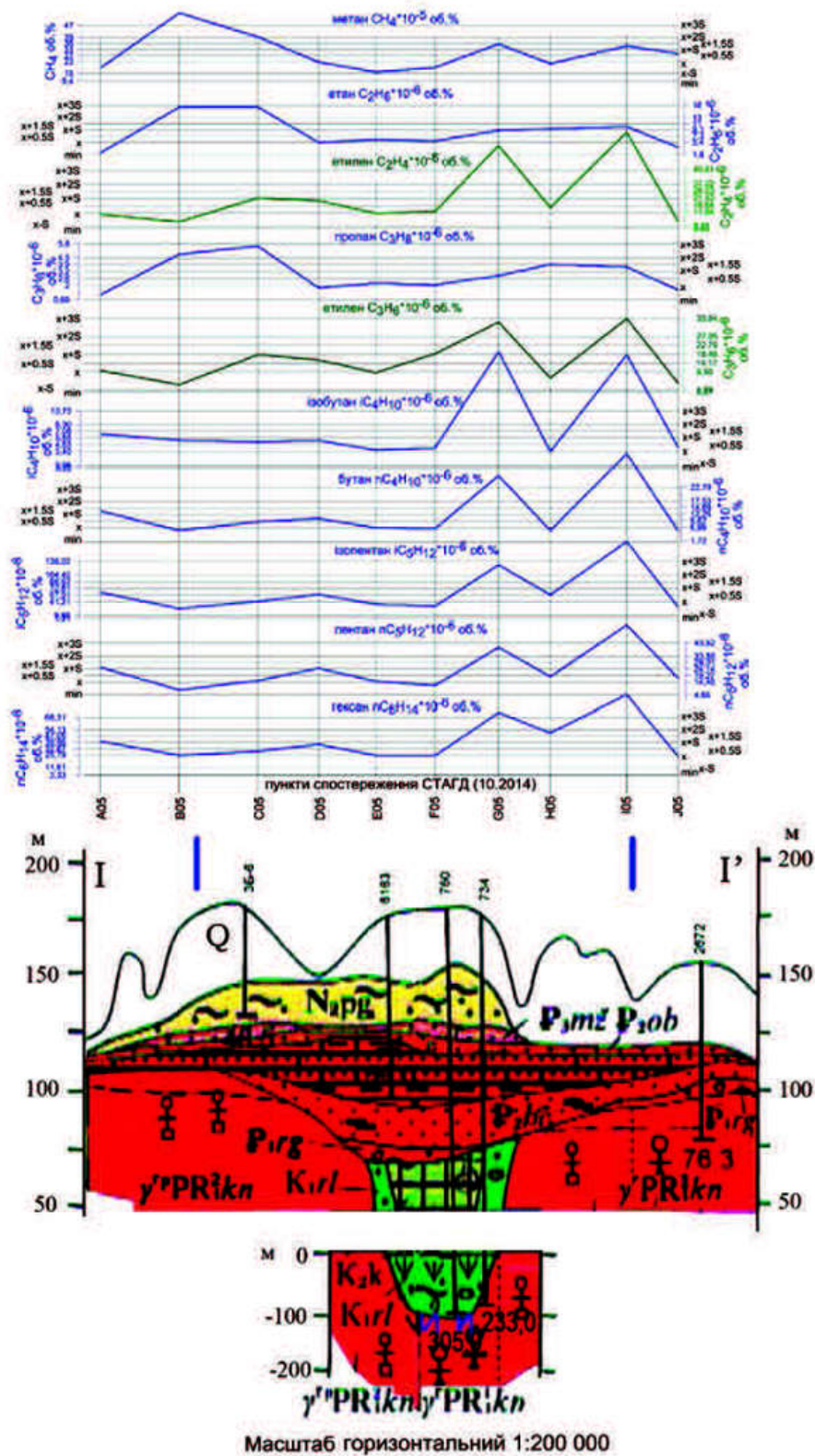


Рис. 7. Графіки розподілу показників вмісту вуглеводневих газів у підґрунтовому повітрі на геолого-геохімічному профілі I-I (на фрагменті геологічного розрізу до Геологічної карти дочетвертинних утворень. Аркуш М-36-XXVI. К. Ткаченко, 2010 р.). Умов. позначення див. на рис. 6

За результатами аналізу та інтерпретації результатів СТАГД, а також особливостями геологічної будови Ротмістрівської імпаکتної структури і прилеглих до неї частин району досліджень виділені ділянки, перспективні на виявлення скупчень вуглеводневих газів (рис. 8). При цьому враховували два головних фактори: 1) особливості розподілу показників вмісту бутану, ізобутану, пентану, ізопентану, гексану, етилену і пропілену; 2) розподіл показників вмісту радону і торону. Перший фактор дозволяє оцінити перспективи вуглеводневої газонасності з урахуванням розподілу метану, етану, пропану, а також температурних показників. Другий фактор – основа для картування тектонічних порушень і проникних зон тріщинуватості. Аномальні прояви інформативних показників першого фактора розташовані

за межами кратера, на північному заході, півночі і сході ділянки досліджень. Відповідно, ділянки, перспективні на виявлення скупчень вуглеводневих газів, також виділені в цих частинах площі досліджень. Рівень їх перспективності різний і потребує подальших робіт методами СТАГД.

Висновки

Застосування комплексу приповерхневих методів СТАГД та переінтерпретація наявних геологічних і геофізичних матеріалів дозволили внести суттєві уточнення в будову Ротмістрівської імпаکتної структури. Вперше виділена кільцева структура, яка інтерпретується як її корінний вал; визначені параметри імпаکتної структури (діаметр, площа); уточнено положення кратера та окремих тектонічних порушень.

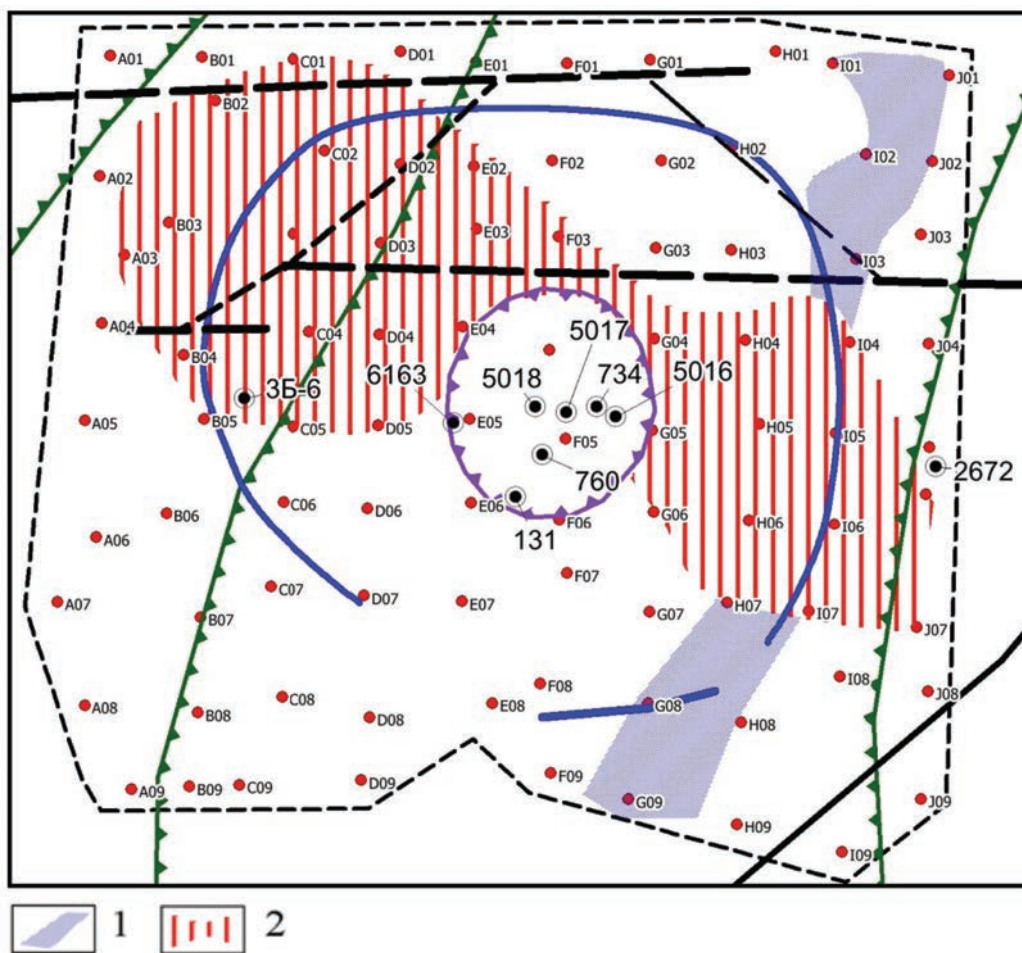


Рис. 8. Схема перспективних ділянок на пошуки ВВ у межах Ротмістрівської імпаکتної структури
1 – перспективні ділянки першої черги досліджень; 2 – умовно перспективні ділянки, що потребують подальших детальних спеціальних досліджень

Вперше встановлено характер просторового положення, інтенсивності і складу газових і термометричних полів над імпактною структурою. Доведено, що кратер структури, зокрема поклади в ньому горючих сланців, практично не впливають на розподіл еманацийних та вуглеводневих газів. Найбільш значущі аномалії підґрунтових газів просторово і генетично пов'язані з кільцевою структурою (корінним валом) і тектонічними порушеннями та зонами тріщинуватості і розуцільнення.

Список літератури / References

1. Багрій І.Д. Розробка геолого-структурно-термо-атмогеохімічної технології прогнозування пошуків корисних копалин та оцінки геоecологічного стану довкілля / І.Д. Багрій. – К.: Логос, 2013. – 511 с.

Bagriy I.D., 2013. Development of geological-structural-thermal-atmo-geochemical technology of research mineral resources forecasting and evaluation of geoeological the environment. Kyiv: Logos, 511 p. (in Ukrainian).

2. Багрій І.Д. Обґрунтування нової пошукової технології та її адаптація на традиційних і нетрадиційних нафтогазоносних об'єктах імпактних структур України / І.Д. Багрій // Геол. журн. – 2015. – № 2 (351). – С. 125-126.

Bagriy I.D., 2015. Justification of new search technology and its adaptation to conventional and unconventional oil and gas facilities impact structures of Ukraine. *Geologichnyy zh.*, № 2 (351), p. 125-126 (in Ukrainian).

3. Вальтер А.А. Взрывные кратеры Украинского щита / А.А. Вальтер, В.А. Рябенко. – Киев: Наук. думка, 1977. – 156 с.

Walter A.A., Ryabenko V.A., 1977. Explosion craters of the Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 156 p. (in Russian).

4. Гуров Е.П. Импактное кратерообразование в истории Земли / Е.П. Гуров, П.Ф. Гожик. – Киев: НТП «Нефтегаз-прогноз», 2006. – 217 с.

Gurov E.P., Gozhik P.F., 2006. Of impact crater in the Earth's history. Kiev: STP "Naftogaz forecast", 217 p. (in Russian).

5. Масайтис В.Д. Карлинская, Оболонская и Ротмистровская астроблемы в Европейской части СССР / В.Д. Масайтис, А.Н. Данилин,

Застосування методів статистичного аналізу – кореляційного аналізу Персона і факторного аналізу (основного компоненту) – дозволило встановити інформативні показники вуглеводневої акумуляції на досліджуваній території. В комплексі з геолого-геофізичними даними це дало можливість виділити перспективні ділянки на виявлення скупчень вуглеводневих газів.

Г.М. Карпов, А.И. Райхлин // Докл. АН СССР. – 1976. – Т. 230, № 1. – С. 174-176.

Masaitis V.D., Danilin A.N., Karpov G.M., Reichlin A.I., 1976. Karlin, Obolon and Rotmistrov astroblems in the European part of the USSR. *Doklady AN SSSR*, vol. 230, № 1, p. 174-176 (in Russian).

6. Масайтис В.Д. Геология астроблем / В.Д. Масайтис, А.Н. Данилин, М.С. Машак и др. – Л.: Недра, 1980. – 231 с.

Masaitis V.D., Danilin A.N., Mashak M.S. et al., 1980. Geology of astroblems. Leningrad: Nedra, 231 p. (in Russian).

7. Михайлов В.А. Перспективи нафтогазоносності імпактних структур Українського щита / В.А. Михайлов, П.М. Чепиль // Геолог України. – 2012. – № 1-2. – С. 72-83.

Mikhailov V.A., Chepil P.M., 2012. Perspectives of gas and oil content impact structures of Ukrainian Shield. *Geolog Ukrainy*, № 1-2, p. 72-83 (in Ukrainian).

8. Михайлов В.А. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. 7. Метан вугільних родовищ, газогідрати, імпактні структури і накладені западини Українського щита / В.А. Михайлов, О.Ю. Зейкан, А.М. Коваль та ін. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 368 с.

Mikhailov V.A., Zeykan O.Yu., Koval A.M. et al., 2013. Alternative sources of hydrocarbons in Ukraine. In 8 volumes. Vol. 7. Coalbed methane, gas hydrates, impact structures and superimposed depressions of the Ukrainian Shield. Kyiv: Nika-Center, 368 p. (in Ukrainian).

Стаття надійшла
09.06.2016

РЕГИОНАЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ СТРУКТУРНО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

**Д.П. Хрущев¹, Р.Я. Белевцев², А.Б. Бобров³, М.В. Гейченко⁴,
Г.В. Артеменко⁵, А.П. Лобасов⁶**

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: khrushchov@hotmail.com*

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, старший научный сотрудник.

² *Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: belevtsev@ukr.net*

Член-корреспондент НАН Украины, заведующий отделом термодинамики геосфер.

³ *Экспертный совет Союза геологов Украины, Киев, Украина, E-mail: albobrov@ukr.net
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, председатель.*

⁴ *Экспертный совет Союза геологов Украины, Киев, Украина, E-mail: geich@ukr.net
Кандидат геологических наук, заместитель председателя.*

⁵ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины,
Киев, Украина, E-mail: australes@mail.ru*

Доктор геологических наук, заведующий отделом геологии и хроностратиграфии докембрия.

⁶ *Независимый геолог, IT-специалист, Киев, Украина, E-mail: lobasov_al@rambler.ru
Кандидат геологических наук.*

Цель публикации – представление концепции регионального цифрового структурно-петрографического моделирования кристаллических образований в пределах государственной территории. Определены методологические принципы, методики, имеющиеся наработки, приведены примеры моделирования. Цифровая структурно-петрологическая модель – объемное компьютерное отображение геологического объекта, содержащего его структурные и качественные характеристики. Ожидаемый результат – получение целостных комплексных структурно-петрографических моделей кристаллических образований на формационной основе по геологическим объектам на государственном территориальном уровне. Цель моделирования – создание многомасштабного многостороннего основания для информационного обеспечения всех направлений и видов геологической деятельности, связанных с разноцелевым использованием кристаллических образований и охраной геологической среды.

Ключевые слова: кристаллические формации, компьютерное моделирование, геоинформационная система, использование недр, охрана геологической среды.

REGIONAL DIGITAL STRUCTURAL-PETROLOGICAL MODELING OF CRISTALLINE MASSIVE OF TERRITORY OF UKRAINE

**D.P. Khrushchov¹, R.Ya. Belevtsev², A.B. Bobrov³, M.V. Geychenko⁴,
G.V. Artemenko⁵, A.P. Lobasov⁶**

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,
E-mail: khrushchov@hotmail.com*

Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, senior research worker.

© Д.П. Хрущев, Р.Я. Белевцев, А.М. Бобров, М.В. Гейченко, Г.В. Артеменко, А.П. Лобасов, 2016

² *Institute of Geochemical of Environmental of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,*

E-mail: belevtsev@ukr.net

Corresponding member of NAS of Ukraine, chief of department of thermodynamics of geospheres.

³ *Expert Council of Ukrainian Geologist Association, Kiev, Ukraine, E-mail: albobrov@ukr.net*

Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, chairman.

⁴ *Expert Council of Ukrainian Geologist Association, Kiev, Ukraine, E-mail: geich@ukr.net*

Candidate of geological sciences, voice chairman.

⁵ *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named M.P. Semenenko of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: australes@mail.ru*

Doctor of geological and mineralogical sciences, chief of department of geology and chronostratigraphy.

⁶ *Freelance geologist, IT-specialist, Kiev, Ukraine, E-mail: lobasov_al@rambler.ru*

Candidate of geological sciences.

The target of the communication is the presentation of a concept for regional digital structural-petrological modeling of crystalline massive within the limits of a state territory. Methodological principles, methods, preliminary results available and examples of models are reflected. Digital structural-petrological model is a computer reflection of geological object including it's structural and qualitative characteristics. The results achieved: obtaining of integrated complex digital structural-petrological of crystalline massive on formational basis by regional principle upon state scall level. The objectives of modeling is to found multiscale multipurpose basement for information supervision of all issues and kinds of geological activity connected with variable use and protection of geological environment.

Key words: crystalline formations, computer modeling, geoinformatic system, geological environment protection.

РЕГІОНАЛЬНЕ ЦИФРОВЕ СТРУКТУРНО-ПЕТРОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРИСТАЛІЧНИХ УТВОРЕНЬ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

**Д.П. Хрущов¹, Р.Я. Бєлєвцев², О.Б. Бобров³, М.В. Гейченко⁴,
Г.В. Артеменко⁵, О.П. Лобасов⁶**

¹ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: khrushchov@hotmail.com*

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, старший науковий співробітник.

² *Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, Київ, Україна,*

E-mail: belevtsev@ukr.net

Член-кореспондент НАН України, завідувач відділу термодинаміки геосфер.

³ *Експертна рада Союзу геологів України, Київ, Україна, E-mail: albobrov@ukr.net*

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, голова.

⁴ *Експертна рада Союзу геологів України, Київ, Україна, E-mail: geich@ukr.net*

Кандидат геологічних наук, заступник голови.

⁵ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: australes@mail.ru*

Доктор геологічних наук, завідувач відділу геології і хроностратиграфії докембрію.

⁶ *Незалежний геолог та IT-спеціаліст, Київ, Україна, E-mail: lobasov_al@rambler.ru*

Кандидат геологічних наук.

Мета публікації – представлення концепції регіонального цифрового структурно-петрографічного моделювання кристалічних утворень у межах державної території. Визначено методологічні принципи, методики, наявні напрацювання, наведено приклади моделювання.

Цифрова структурно-петрологічна модель – об'ємне комп'ютерне відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні та якісні характеристики. Очікуваний результат – отримання цілісних комплексних структурно-петрографічних моделей кристалічних утворень на формаційній основі по геологічних регіонах на державному територіальному рівні. Мета моделювання – створення різномасштабної багатоцільової основи для інформаційного забезпечення всіх напрямів і видів геологічної діяльності, пов'язаних з різноцільовим використанням кристалічних утворень та охороною геологічного середовища.

Ключові слова: кристалічні формації, комп'ютерне моделювання, геоінформаційна система, використання надр, охорона геологічного середовища.

Введение

Постановка проблемы. Анализ современного состояния информационного обеспечения геологической деятельности показывает неудовлетворительность традиционных средств и подходов, заключающихся в использовании общепринятых комплексов двумерных картографических материалов (карт, профилей, а также блок-диаграмм, претендующих на трехмерное отображение геологической среды). Недостаточная информативность и низкая технологичность воспроизводства, свойственная этим средствам, вступает в противоречие с современными вызовами технологического прогресса в сфере обращения с геологической средой и, в особенности, с уровнем информационных технологий.

Мировые тенденции развития геологических работ определяют также смену их структуры прежде всего путем сокращения капиталоемких производственных операций (поискового и разведочного бурения, проходки горных выработок), направленных на получение исходной информации о геологической среде за счет повышения эффективности камеральных методов с использованием высокотехнологичных способов обработки фактических данных.

В настоящее время имеется пример инновационной разработки, ориентированной на приведение системы информационного обеспечения геологической деятельности в соответствие с современными возможностями информационных технологий и требований технологического прогресса – это концепция регионального цифрового структурно-литологического моделирования (ЦСЛМ) осадочной оболочки Земли [Хрущев, 2013]. При

этом объектом моделирования являются только осадочные формации, составляющие осадочную оболочку земной коры.

Перспективность упомянутой разработки указывает на целесообразность модифицирования ЦСЛМ для создания концепции регионального моделирования «кристаллических»* образований на территории Украины, что и составляет идею представляемой проблемы.

Актуальность предлагаемой научно-исследовательской разработки состоит в создании инновационной унифицированной (многоцелевой) системы информационного обеспечения геологической деятельности на территориях распространения массивов «кристаллических» образований с перспективной существенного повышения эффективности всех направлений и видов работ и ожидаемым результатом оптимизации организационно-управленческих форм геологической деятельности.

Объектом работы являются «кристаллические» образования (т.е. магматические и метаморфические породы) территории Украины. В качестве основного исследовательского полигона взят Украинский щит (УЩ) как наиболее изученный геологический регион, имеющий наиболее полный комплекс формационных, генетических, функциональных и других характеристик.

При этом следует упомянуть, что с породными комплексами кристаллического фундамента, прошедшими разные пути формирования в различных структурно-тектонических обстановках и p , t -параметрах петрогенезиса, связан широкий комплекс полезных ископаемых. Здесь сосредоточены значительные запасы железных и урановых

* Использование распространенного термина «кристаллические» принимается с оговоркой его неточности, поскольку часть осадочных пород также характеризуется кристаллической структурой – эвапориты, карбонаты и др.

руд, титана и циркония, хромитовых руд, апатита, редких и редкоземельных элементов, графита, каолинов, очень широкий спектр строительного сырья, полудрагоценных и драгоценных минералов; трещиноватые зоны вмещают основные запасы подземных вод.

Цель публикации – представление концепции регионального цифрового структурно-петрологического моделирования (РЦСПМ) площадей распространения «кристаллических» образований (на примере УЦ) как инновационной унифицированной системы информационного обеспечения всех направлений и видов геологической деятельности по многоцелевому использованию и охране геологической среды.

1. Обоснование идеи, методология и методы, процедура моделирования

1.1. Обоснование идеи, имеющиеся наработки, мировые аналоги и тренды

Обоснование идеи. Основной замысел предлагаемой научно-исследовательской работы – разработка системы РЦСПМ массивов «кристаллических» пород. Методологическое решение этой задачи заключается в адаптации методологии и методов РЦСЛМ (в том числе методов цифрового структурно-литологического моделирования осадочных тел). Методология и методика РЦСЛМ была предложена Д.П. Хрущевым [Хрущев, 2013]. Принципы ЦСЛМ были заявлены Д.П. Хрущевым и А.П. Лобасовым (Хрущев, Лобасов, 2006) и иллюстрированы многочисленными примерами моделирования россыпей тяжелых минералов (титана, циркония, олова, золота), соленосных (галитовых, калиеносных) формаций, некоторых техногенно-геологических объектов [Хрущев, Лобасов, Гейченко и др., 2010; Босевська, 2012; Khrushchov, Lobasov et al., 2015 и др.]. Часть этих моделей была внедрена в геологическую деятельность. Не вдаваясь в детализацию, отметим, что предложенный принцип ЦСЛМ дает возможность получения максимально адекватного комплексного объемного отображения структуры, вещественного состава и функциональных свойств геологической среды.

Мировые аналоги и тренды. Цифровое моделирование геологических объектов в

настоящее время является одним из перспективных направлений в сфере информационного обеспечения геологических работ. Основные тенденции развития этого направления отражаются программами форумов Европейского конгресса региональной геокартографии и информационных систем (EUREGEO). В программах последних конгрессов (включая 8-й конгресс 2015 г.) можно отметить появление примеров объемного моделирования глубинных зон региональной масштабности – осадочно-породных бассейнов, крупных структурно-фациальных зон, всей толщи четвертичных отложений (Испания, Германия, Греция и др.) и даже всей территории страны (Нидерланды).

Особую аналогию представляет проект Международной программы геонаук ЮНЕСКО (МПГК) «Единая геология» (IGCP project № 624 «One geology»). Целью проекта является создание цифровой геологической карты мира (базовый масштаб 1:1 000 000). В этом проекте предусматривается отображение как осадочной оболочки, так и «кристаллических» пород фундамента [Tales set in stone, 2012].

Близкую аналогию компьютерного геологического моделирования в масштабе государственной территории представляет концепция российских геологических центров – ВСЕГЕИ и др. (Единая распределенная компьютерная модель..., 2001). Целью этой разработки по существу является компьютерное геологическое картографирование. Однако, судя по обзору опубликованной литературы и интернет-источников о тематических работах организаций-авторов концепции (ВСЕГЕИ и др.), реализация предлагаемого амбициозного проекта пока не осуществляется.

1.2. Методология

Общая оценка принципов РЦСЛМ осадочного чехла (см. список цитируемых работ) приводит к выводу о возможности их модифицирования для обоснования РЦСПМ массивов «кристаллических» образований.

Исходя из определения ЦСЛМ как виртуального объемного многостороннего отображения (образа) геологического объекта, содержащего его структурные и качественные (вещественные) характеристики,

забегая вперед, отметим, что оно в целом может быть принято и для модели «кристаллических» образований с формальной заменой определения «литологическая» на «петрологическая» в соответствии с общепринятыми понятиями объектности.

В связи с этим определением обозначаем две базовые методологические задачи моделирования: отображение структурных форм объекта и их вещественного наполнения (состава).

Структурные характеристики геологических тел «кристаллических» и осадочных образований имеют много общего, однако их подобность является в основном не аналогичной, а гомологичной, поскольку определяется принципиальными генетическими отличиями. Тем не менее как в осадочных, так и в «кристаллических» образованиях присутствуют стратифицированные, секущие формы и формы региональных изменений (для «кристаллических» – метаморфизма, метасоматоза, для осадочных – катагенеза, протометаморфизма). Все эти формы поддаются формализации, векторизации и, соответственно, цифровому моделированию.

Качественные характеристики (т.е. вещественное наполнение структурных форм) представляются в форматах геохимических, породных и минеральных данных. Наборы как геохимических, так и породно-минеральных параметров различаются не только для «кристаллических» и осадочных образований в целом, но и формационных подразделений различных иерархических рангов, т.е. литологических и петрологических тел.

Существует множество примеров цифрового моделирования перспективных геологических объектов, выполняемых на основе различных программных комплексов, которые представлены как в опубликованной литературе, так и в формах отчетов. Имеющийся опыт этих разработок может использоваться для развития предлагаемого направления.

Рассматривая задачу структуризации геологических тел, мы сталкиваемся с двумя аспектами этой операции. Первый аспект заключается в установлении структурных и тектонических границ (различной природы), второй – в регистрации границ изменений вещественного состава.

Основным результатом установления структурных и тектонических границ должно быть обозначение иерархической структуры блоковых структур. Для регионального уровня модели важной методологической задачей является выбор базового иерархического уровня блоковой структуры. Предварительно для решения этой задачи можно предложить критерии формационно-вещественного и генетического единства с учетом историко-геологической этапности.

Второй аспект является еще более сложным, поэтому мы его рассматриваем достаточно детально. В референтной статье Д.П. Хрущева для моделирования образований осадочной оболочки предлагается формационный принцип (при том, что им же обосновывается парагенетический подход к выделению формаций).

Априорно попытаемся предложить формационный принцип и для структурирования «кристаллических» образований.

Для начала приведем смысловой анализ термина «геологическая формация». В большинстве классических работ этот термин считается применимым как для осадочных тел, так и «кристаллических» образований. Цитируем определение термина по «Горной энциклопедии» 1987-1991 гг.: «Формация геологическая – естественная совокупность горных пород, связанных общностью условий своего образования, т.е. возникшая в сходной физико-географической и тектонической (геодинамической) обстановке» (Т. 5, с. 328).

Как видим, это определение по отношению к объекту нашей публикации является достаточно адекватным. Цитируем далее более предметно ориентированное определение Е.К. Устинова (1970): «Магматическая формация – закономерно повторяющееся сообщество преимущественно монофациальных магматических пород и связанных с ними метаморфических и гидротермальных образований, возникших в общих структурно-геологических условиях при одинаковом тектоническом режиме в связи с единым этапом тектоно-магматической эволюции (ТМЭ). Отношения между всеми членами магматической формации определяются единством либо магматического источника, либо только структурообразующего и порообразующего процессов».

Добавим к этому более позднее определение О.А. Богатикова с соавторами (1987): «Магматическая формация – определенная совокупность магматических горных пород, имеющая конкретный геологический, петрографический и петрогеохимический состав». Таким образом, можем констатировать, что если для осадочных образований при идентификации осадочных формаций предпочтительным является парагенетический подход [Хрущев, Компанец, 1988 и др.], то для «кристаллических» формаций приоритетным является вещественно-генетический критерий идентификации.

Однако остановившись на общем принятии этих определений формации, обнаруживаем, что мы не можем их использовать для формализации с целью моделирования. Как выясняется при анализе отечественной специальной литературы, в употреблении этого термина существует такой значительный разнобой, при котором он фактически переходит в термин свободного пользования (что не удовлетворяет требованиям моделирования).

Тем не менее установилась достаточно адекватная с методологической точки зрения номенклатурная иерархическая система терминов стратиграфического назначения: комплекс – серия – свита [Кирилюк, 2013 и др.], которая может быть дополнена терминологическими обозначениями геологических тел более низких рангов – подсвит, толщ и т.д. Применительно к «кристаллическим» образованиям фундаментом выделение этих номенклатурных подразделений производится на основе совокупного учета геолого-структурных и хроностратиграфических взаимоотношений (последовательности). Вещественные (породные и геолого-формационные) признаки учитываются как дополнительные критерии. По нашему мнению, данный подход нельзя считать полностью соответствующим задачам моделирования.

Для целей РЦСПМ оптимальной разрешающей способностью обладает формационный подход, в котором определенную роль играет установление вещественных и структурно-текстурных признаков пород. Однако развитие этого подхода пока тормозится отсутствием методологического определения формации как базового номенклатурного

подразделения формационного анализа по крайней мере для условий УЩ как намеченного исследовательского полигона. Исходя из формулировки такого определения, мы сможем установить и место прижившихся в отечественной номенклатуре стратиграфических терминов: комплекс – свита – толща и т.д. в формационной понятийной системе.

Особого рассмотрения заслуживает вопрос учета возраста формационных подразделений. Помимо различия методологических принципов определений возраста (преимущественно биостратиграфических для осадочных образований и изотопного датирования – для «кристаллических») отличается и роль возрастных определений. Для осадочных образований эта роль незначительна ввиду достаточности критериев структуризации, а для кристаллических образований возрастные определения являются важным критерием диагностирования формаций и их подразделений наряду с вещественными характеристиками.

Корректность и точность вначале формационных, а затем геолого-стратиграфических построений чрезвычайно важна для установления и формационной (а следовательно, стратиграфической, тектоно-генетической и т.д.) принадлежности породных комплексов. Примером корректного подхода к этим построением является обнаружение в последние годы ряда принципиально новых и ранее неизвестных геоструктур. Так с использованием указанных подходов нами обнаружены Берестовецкая, Чистопольская и Новогоровская зеленокаменные структуры в Западном Приазовье; доказано природу Софиевской структуры [Бобров, 2015, 2016; Бобров, Бестужев, Кузь, 2010; Бобров и др., 2010; Bobrov, 2002], всегда считавшейся габброидным массивом.

Тем не менее, различия подходов формационного анализа и роли генетических определений не противоречат определяющему принципу моделирования, предложенного для осадочных образований: «СЛМ являются статическими, т.е. отражают состояние объекта на данный момент (с учетом генетических, динамических и других аспектов как вспомогательных средств решения частных вопросов)» [Хрущев, Лобасов, Гейченко и др., 2010].

Итак, для «кристаллических» образований объектом моделирования могут быть формационные подразделения, т.е. петрологические тела различных иерархических рангов начиная от формации и ниже, выделяемые по вещественному принципу (с учетом генетических и других данных), а также определенные объемы породного массива, устанавливаемые по каким-либо функциональным признакам.

Предметом моделирования могут служить любые качественные характеристики структурных элементов объекта, подлежащих геометризации – породные ассоциации, минеральные ассоциации, фации *p, t*-условий, участки (зоны, тела), обладающие определенными функциональными свойствами – геохимическими (в частности, барьерными) или физико-механическими (например, прочностными или фильтрационными, коллекторскими), либо отражающие определенные состояния породного массива – например, напряженно-деформированное состояние, структурно-динамические характеристики (потенцию к развитию движения твердых флюидов), и, наконец, зоны развития наложенных процессов – как природных (метаморфизма, гидротермальной переработки), так и техногенных (химических, тепловых и т.п.) воздействий.

Методика РЦСПМ базируется на целевом развитии общих принципов статического моделирования геологических объектов, модифицированных с учетом особенностей строения и состава «кристаллических» образований на основе базовых методов формационного анализа (петрологических, геохимических, минералогических), которые отражены во многих классических (и новейших) работах Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, В.И. Лучицкого, А.П. Виноградова, А.Б. Ронова, Ф.У. Кларка, Н.П. Семеновича, Я.Н. Белевцева, А.Б. Боброва, Е.К. Лазаренко, Б.Ф. Мицкевича, И.С. Усенко и др.

Процедура разработки моделей охватывает два действия: подготовка исходных материалов и компьютерная обработка.

Подготовка исходных материалов заключается, как указывалось выше, в выполнении двух операционных задач: структурирование геологических объектов и осуществление их вещественного наполнения.

Структурирование геологических объектов выполняется на основе общепризнанных теоретических представлений о структуре «кристаллических» формаций с конкретизацией для местных условий.

Вещественное наполнение структурных элементов осуществляется на основе унификации существующих современных представлений о номенклатуре и классификации «кристаллических» пород [Бородин, 1987; Заварицкий, 1955; Магматические..., 1955; Igneous Rocks..., 2002; Teylor, Mc.Lenan, 1985 и др.].

Особенности компьютерных технологий моделирования «кристаллических» образований. Принцип цифрового структурно-вещественного (в нашем случае петрологического) моделирования заключается в получении объемной комплексной модели в цифровом (векторном) формате, отображающей внешнее и внутреннее строение геологического объекта с вещественными характеристиками составляющих его структурных элементов на основе всей заложенной в базу данных первичной информации (включающей две составляющие: фактографическую – опорные разрезы, получаемые по всем видам геологических и частично геофизических работ, и фактографически-априорную – имеющиеся двухмерные (при наличии и трехмерные) картографические материалы (геологические и геолого-геофизические профили и карты), а также экспертные представления об объекте.

На основе имеющихся представлений о строении и составе «кристаллических» образований можно полагать, что цифровому моделированию подлежат следующие объектные формы (по типам образований):

- магматические породы (интрузивные: согласные – силы, лакколиты и др.; несогласные – батолиты, дайки, штоки; эффузивные – потоки, покровы, дайки, купола и др.);
- метаморфические породы (регионально и контактово метаморфизованные);
- метасоматические породы (региональные и локальные метасоматиты).

Для метаморфических и метасоматических образований регионального типа характерны сложные пространственные конфигурации, в общем соответствующие региональным измерениям глубинных энер-

гетических потоков и динамических воздействий, а также структурных и петрологических особенностей самих регионов. Образованиям локального типа присущи различной сложности и пространственной ориентации секущие формы. В эффузивных образованиях встречаются также стратоподобные и пластовые формы, в метаморфических и метасоматических – реликты слоистых форм и текстур.

В условиях древних платформ все указанные типы образований подвергнуты дислокациям как пликативным (складки, флексуры и др.), так и дизъюнктивным (разломы и др.). Сочетание первых и вторых образует наиболее сложный региональный структурный тип – складчато-блоковый. Отдельно следует рассматривать сводовые, кольцевые и другие специфические структурные типы.

Таким образом, самостоятельное значение для моделирования, т.е. пространственного отображения в ЦСПМ, имеют следующие структурные элементы и формы:

- дизъюнктивные нарушения тектонической природы, образующие границы блочных структур различных иерархических рангов (преимущественно плоскостного характера);

- границы магматических тел – интрузивных, эффузивных (криволинейные, в основном замкнутого характера);

- границы зон метаморфизма и метасоматоза (криволинейные замкнутого, семизамкнутого и семиоткрытого характера);

- штоки, купола (субцилиндрические, криволинейно-куполовидные, семизамкнутого характера);

- дайковые, жильные образования (усложненной криволинейной формы семизамкнутого характера);

- контуры кор выветривания (плоско-субгоризонтальные слоеподобные тела).

Сразу заметим, что с методологической точки зрения компьютерное моделирование указанных форм имеет аналогию с таковым для основных форм осадочных образований. А методика моделирования последних фактически уже может считаться более или менее отработанной (и внедряемой) [Хрущев, Лобасов, 2006; Хрущев, Гейченко и др., 2010 и др.]. Добавим, что

методика модельного отображения внутреннего и внешнего строения секущих форм была отработана на примерах сложно построенных соляных диапиров, а складчато-блоковых тектонических стилей – на примерах соленосных формаций Предкарпатья.

Исходя из приведенного, ниже представляются основные методические подходы технологии ЦСПМ для условий (структурных и петрологических) «кристаллических» образований.

Первым этапом процедуры является экспертная идентификация тектонической структуры геологического объекта регионального масштаба и построение базовой тектонической (структурной) подмодели с отображением системы разломно-блоковых элементов, разделяемых сетью разломов высокого порядка (пример приведен в разд. 2).

Последующий этап, основной – компьютерное (цифровое) структурирование отдельных выделенных разломно-блоковых структурных элементов более низких иерархических рангов в итерационном порядке.

Методика компьютерного отображения основных структурных форм освещена в ряде публикаций и фондовых материалов (отчетов) и здесь нами не приводится.

Если комплексный объект состоит из более чем одного из описанных выше объектов, необходимо провести согласование построенных объектов. Согласование производится с помощью специальной таблицы, отражающей структурные взаимоотношения фигурирующих форм.

Вещественное наполнение структурных элементов ЦСПМ может осуществляться в двух формах: породно-минеральной и породно-геохимической. Возможно также введение в модель некоторых функциональных свойств – физико-механических, емкостно-фильтрационных и т.д. Это же касается генетических признаков (фаций метаморфизма и метасоматоза и т.д.) как самостоятельных параметров, так и вспомогательных для идентификации структурных элементов (наряду с вещественными и структурно-текстурными характеристиками).

Исходя из определения РЦСПМ как составной, методика моделирования предполагает получение интегрированной модели геологического региона (как базовой структурно-территориальной единицы в пределах государственной территории) посредством прямого объединения множества моделей отдельных структурных подразделений (блоков, структурно-фациальных зон и т.д.).

Процедура моделирования. На основе намеченных методолого-методических принципов с учетом особенностей строения и состава «кристаллических» образований вообще и пород фундамента Украины, прежде всего УЩ, как базового исследовательского полигона в частности (см. разд. 2), можно представить общую схему процедуры РЦСПМ.

Подготовительным этапом должна быть разработка целевой унифицированной номенклатурной структурной и формационной основы.

По этой структурно-формационной основе должна быть коллекционирована и модификационно обработана база данных (по сути рассредоточенная в огромном массиве первоисточников).

База данных в целом соответствует традиционным принципам и включает фактографическую основу: данные буровых скважин, горных выработок и обнажений, а также имеющиеся геологические и геолого-геофизические картографические материалы – плановые (карты, карто-схемы), профильные, и, наконец, существующие двух- и трехмерные геолого-геофизические построения.

В основе процедурного процесса должна находиться базовая структурная схема объекта (геологического региона, например, УЩ) в цифровой форме с выделением блоковых (и других) структур, подлежащих последующим стадиям моделирования.

Вещественное наполнение намеченных структурных элементов выполняется на формационном принципе. Для петрологических характеристик составляются номенклатурные классификаторы. Исходные данные подготавливаются в виде стандартизованных матричных таблиц с отражением вещественных, при наличии – количественных характеристик, с кодированием номенклатурных определений.

Таким образом, процедура моделирования охватывает следующие этапные операции: целевая обработка базы данных, разработка структурной основы модели, формационно-вещественное наполнение структурных элементов, компьютерная обработка.

Процедура компьютерной обработки подготовленных исходных материалов базы данных охватывает три последовательных действия: комплектация и ввод данных, компьютерная обработка по целевым (в значительной мере авторским) программам, функционирование модели.

Все модели отдельно моделируемых структурных элементов (блоков) различных масштабов в границах всего объекта объединяются, и в результате получается интегрированная сплошная модель регионального масштаба.

Функционирование модели (РЦСПМ) подразумевает ее использование потребителями с учетом ее действия как постоянно действующей, т.е. с возможностью перманентного обновления путем ввода новых данных с соответствующей автоматической (и экспертно-автоматической) корректировкой.

Компьютерная обработка в рамках нашей концепции технически осуществляется на основе разрабатываемого программного комплекса (авторской технологии) «Многомасштабное многоцелевое 3D структурно-вещественное моделирование геологических формаций литосферы».

Отличие предлагаемой технологии от множества целевых программных комплексов крупной (локальной) или средней масштабности заключается в двух определяющих свойствах: многомасштабности и многосторонности.

Многомасштабность обеспечивается методически традиционными (частично модифицированными) техническими приемами компьютерных технологий.

Многосторонность заключается в отображении многих свойств геологической среды, имеющих функциональное значение. Многосторонность обеспечивается двумя главными условиями:

– методологическим – использованием априорной экспортной разносторонней информации, касающейся: а) отображения

структуры геологических тел различных иерархических рангов; б) пространственной изменчивости вещественного состава этих тел (см. выше);

– методической обеспеченностью отображения указанных (структурных и вещественных) характеристик геологических тел техническими средствами компьютерных технологий.

В отличие от аналогичных программных комплексов, ориентированных, преимущественно, на моделирование локальных геологических объектов (месторождений), характеризующихся достаточной обеспеченностью равномерно распределенными данными, настоящая разработка позволяет работать с региональными объектами, включающими в себя в общем случае участки недостаточной изученности. Нерегулярность данных компенсируется обязательным использованием формализованной априорной информации в виде внутренней симметрии объекта, цикличности его строения, картографической информации, полученной в результате предыдущих исследований или экспертных представлений.

В сегодняшнем состоянии разрабатываемого программного комплекса числовые модели структурных и литологических параметров сохраняются в виде бинарных файлов в структуре картографической базы программного комплекса «Geomapping». Входная информация системы «Geomapping» представляется в формате shp ГИС ArcView.

2. Целевая характеристика объектов моделирования, обоснование выбора исследовательского полигона.

Имеющиеся наработки моделирования

Как обозначено в постановке проблемы, полной задачей РЦСПМ является отображение всего объема «кристаллических» образований как части земной коры вплоть до верхней мантии (даже с возможным на современном уровне данных отражением влияния последней на структуру и вещественный состав земной коры). Масштабность этой задачи предполагает, во-первых, системность ее выполнения на основе адекватного теоретического представления всего объекта (т.е. кристаллического

фундамента в пределах всей государственной территории) и, во-вторых, поэтапность выполнения, т.е. изучение определенного исследовательского полигона как первого этапа работ. По ряду условий, рассматриваемых далее, таким полигоном должен быть УЩ. Для обоснования стратегии реализации проекта ниже приводится сжатая характеристика кристаллического фундамента всей территории Украины и УЩ как исследовательского полигона.

2.1. Характеристика фундамента и других кристаллических образований Украины

Следует с удовлетворением отметить, что в настоящее время в результате многолетних разнопрофильных геологических и геолого-геофизических работ уже сложилась цельная геологическая картина сплошного развития фундамента в границах территории Украины.

подавляющая часть площади развития фундамента (около 95%) приходится на платформенные структуры, около 5% – на подвижные молодые структуры.

В общей тектонической схеме фундамента территории Украины выделяются три платформенные структуры (надпорядкового ранга): Восточно-Европейская платформа (ВЕП), Западно-Европейская платформа (ЗЕП) и Центральноевразийская плита (ЦЕП). В число подвижных структур включаются: альпийские сооружения Карпат, киммерийско-альпийские системы Горного Крыма и его восточного продолжения, герциниды Донбасса и цокольные образования Северной Добруджи. Особенности строения всех перечисленных тектонических структур высоких порядков хорошо освещены в многочисленных классических и современных трудах тектонистов.

Установлена общая схема стратиграфической последовательности образований фундамента. Согласно Стратиграфическому кодексу Украины для докембрия в составе архейской эонотемы выделены эратемы: эоархейская, палеоархейская, мезоархейская и неоархейская, в составе протерозойской эонотемы – палеопротерозойская, мезопротерозойская и неопротерозойская эратемы. Разработана региональная хроностратиграфическая шкала с соответствующими региональными подразделениями

(Великанов, Михницкая, 2012 и др.). Установлены изотопные даты границ стратиграфических подразделений (Стратиграфічний кодекс України, 2012).

Для образований фундамента фанерозойского возраста также разработаны как стратиграфические схемы, так и изотопные датировки основных стратиграфических подразделений.

Стратиграфически-временная последовательность формационно-вещественного состава фундамента в наиболее общем масштабе выражена в образованиях двух структурно-вещественных слоев земной коры: гранитном и базальтовом. В более детальном масштабе – трансрегиональном (ВЕР и смежных платформ – ЗЕР и ЦЕР) намечена следующая схема стратиграфической последовательности. По докембрийским разрезам Волинско-Двинского трансрегионального пояса установлены два структурно-вещественных этапа [Галецкий, Черненко, 2001]: нижний – архейский гранулит-базальтовый и верхний – нижне-, среднепротерозойский (интрузивные вулканические и ультраметаморфические образования).

Существует ряд региональных схем формационного состава фундамента.

2.2. Обоснование выбора исследуемого полигона. УЩ и его целевая характеристика

Из всех геологических регионов развития «кристаллических» образований наиболее изученным является УЩ, что и послужило основным аргументом для выбора его как исследовательского полигона. Территория развития фундамента здесь покрыта густой сетью буровых скважин, горных выработок, обнажений. Имеется большой объем описательных данных и картографических материалов по результатам геологических и геолого-геофизических работ. Все это слагает массив фактографических и интерпретационных данных, достаточный для создания целевой базы данных и обеспечения необходимой априорики.

Ниже приводится *целевая характеристика УЩ* как референтного исследовательского полигона (целевая, т.е. направленная на обозначение структурных и качественных характеристик – вещественных, струк-

турно-текстурных, функциональных, которые могут служить предметом цифрового моделирования, см. выше).

УЩ является типичным литосферным блоком континентального типа. Мощность литосферы здесь составляет 35-45 км, достигая в отдельных зонах 55-60 км.

В общем плане структура УЩ представляет мозаичную систему крупных блоков, разделенных глубинными разломами и так называемыми шовными зонами (рис. 1).

В понимании объема блоков, их породного наполнения, пространственных границ существует большое разнообразие подходов и вариантов их визуализации в виде различных версий карт. Представляется логичным использование последнего официального варианта Тектонической карты масштаба 1:1 000 000 [Тектонічна..., 2007], в которой отражены самые современные данные, с учетом материалов ряда предыдущих картографических изданий (Карта геологічних формацій..., 1991; Геодинамічна карта, 1993 и др.).

Различными авторами выделяются от трех до шести блоковых структур высокого порядка («геоблоков», «сегментов», «мегаблоков», «зон»).

В пределах мегаблоков выделяются более мелкие блоки (второго, третьего и последующих порядков), разделенные межблочными зонами и разрывными нарушениями более низких порядков.

Формационно-генетическое наполнение «сегментов» как блоковых структур высокого ранга (по отношению к УЩ – как надпорядковой структуры – первого) различна. Волино-Подольский (Днестровско-Бугский мегаблок) и Приазовский (Западно-Приазовский) мегаблоки сложены в разной степени диафорированными чарнокит-гранулитовыми структурно-формационными комплексами, объединяющими в своем составе как стратифицируемые суперкрупные, так и «условно-стратифицируемые» наборы формаций плутоно-метаморфических классов, поскольку последние замещают суперкрупные без изменения характера их залегания при ультраметаморфических изменениях субстрата. Для всех мегаблоков характерен ареальный и монофациальный метаморфизм гранулитовой

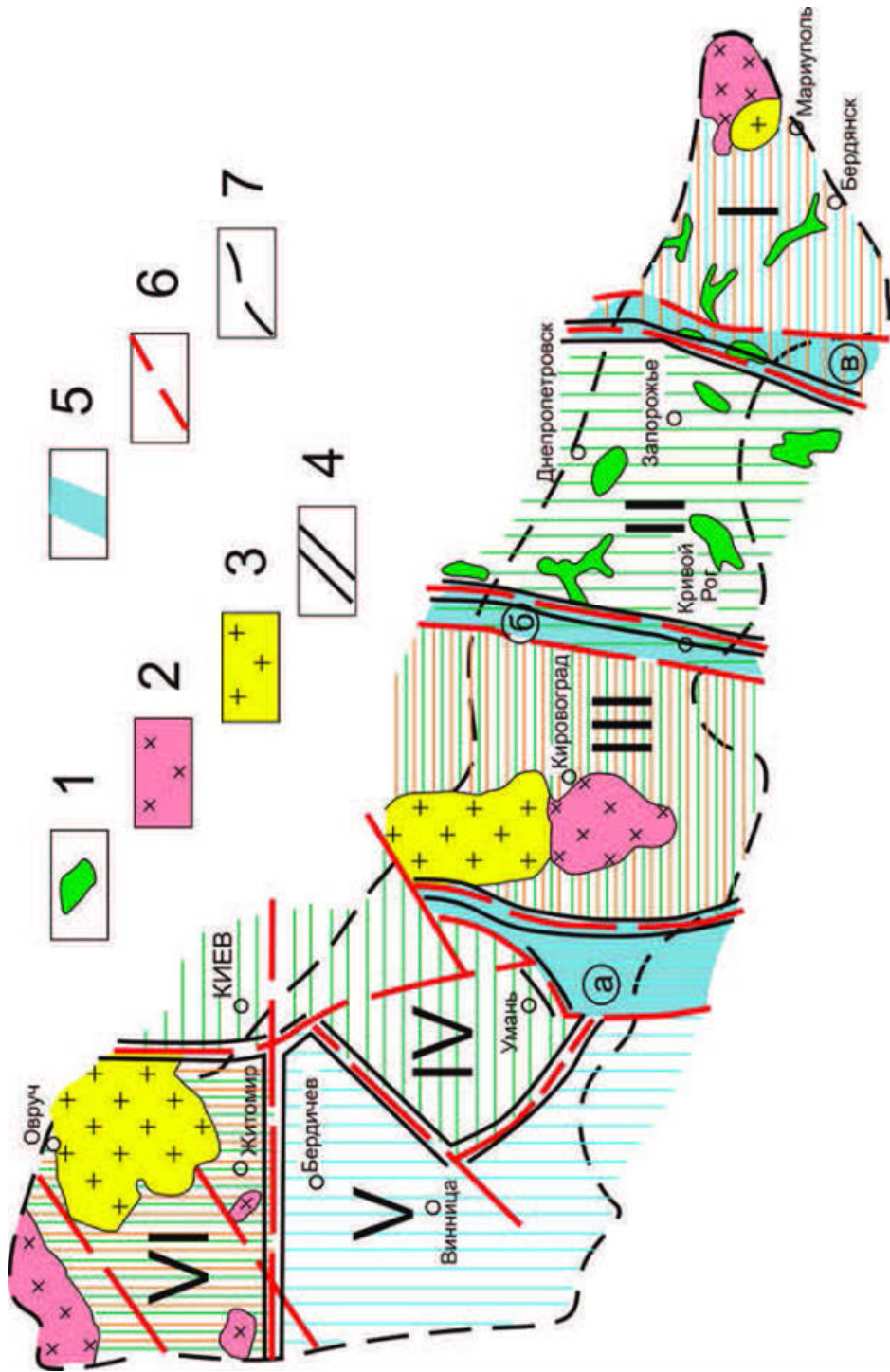


Рис. 1. Структурно-геологическая карта Украинского щита. Масштаб 1:1000000. Составлено по материалам Г.С.Савченко, 1988; Г.С.Савченко, 1990; Г.С.Савченко, 1992; Г.С.Савченко, 1994; Г.С.Савченко, 1996; Г.С.Савченко, 1998; Г.С.Савченко, 2000; Г.С.Савченко, 2002; Г.С.Савченко, 2004; Г.С.Савченко, 2006; Г.С.Савченко, 2008; Г.С.Савченко, 2010; Г.С.Савченко, 2012; Г.С.Савченко, 2014; Г.С.Савченко, 2016; Г.С.Савченко, 2018; Г.С.Савченко, 2020; Г.С.Савченко, 2022; Г.С.Савченко, 2024; Г.С.Савченко, 2026; Г.С.Савченко, 2028; Г.С.Савченко, 2030.

Fig. 1. Geological structure of the Ukrainian shield
 1 – Archean greenstones; 2 – Paleoproterozoic gabbro-diorite-granite masses; 3 – Mesoproterozoic gabbro-anorthosit-rapakivigranite plutons; 4 – Megablocks and their boundaries; 5 – Suture zones; 6 – Main deep faults; 7 – Boundaries of the Ukrainian shield

1 – Архейские зеленые камни; 2 – Палеопротерозойские габбро-диорит-гранитные массивы; 3 – Мезопротерозойские габбро-анортозит-рапакивигранитные плутоны; 4 – Мегаблоки и их границы; 5 – Межблоковые шовные зоны; 6 – Главные глубинные разломы; 7 – Граница УЩ

фации, специфическая тектоническая инфраструктура – сочетание овоидальных и линейных сложноскладчатых (наложение многоэтапных деформаций) стилей тектонических деформаций.

На сегодня общепризнанным является представление о том, что в составе природных комплексов УЩ выделяются природные парагенетические ассоциации четырех петроструктурных классов: супракрустальные, метаморфизованные, плутоно-метаморфические и плутонические, которые по принципу пространственного сонахождения и устанавливаемой при их дальнейшем камеральном изучении генетической связи группируются в несколько структурно-формационных комплексов: чарнокит-гранулитовые, плагиогранит-амфиболитовые, тоналит-зеленокаменные, гранитоидно-метатерригенные, плутонические и вулканогенно-осадочные. Структурно-формационный комплекс большинством авторов понимается как естественно-историческая общность генетически взаимосвязанных породных ассоциаций полигенной природы, возникшей вследствие реализации различных типов литогенеза и петрогенетических процессов (метаморфизма, ультраметаморфизма, диафореза, магматизма, метасоматоза, гидротермальных изменений и т.д.).

С точки зрения моделирования сложность породного состава «кристаллических» образований УЩ не является серьезным препятствием, поскольку сама по себе идентификация петрологических типов пород представляет собой рутинную задачу благодаря разработке номенклатурно-типизационных систем, приведенных в классических трудах Н.П. Семененко, Я.Н. Белевцева, Н.П. Щербакова, И.С. Усенко, Л.Г. Ткачука, И.Б. Щербакова, Е.М. Лазько, В.П. Кирилюка и др.

2.3. Имеющиеся наработки в сфере моделирования

Среди конкретных примеров имеющихся наработок можно выделить две группы по системе завершенности. Первая – более или менее завершенные цифровые модели различной масштабности для участков земной коры, представляющие определенный интерес с точки зрения региональной

геологии или определенных перспектив прогнозирования полезных ископаемых. В качестве примера приводятся разномасштабные геолого-геофизические модели геоструктур Приазовского мегаблока, изученных с разной степенью детальности, перспективных в отношении металлоносности и алмазоносности (рис. 2). К этой же группе относятся крупномасштабные цифровые модели локальных перспективных геологических объектов (месторождений), готовящихся к эксплуатации или детальной разведке. Известен ряд таких моделей, разработанных в системах Micromine (Сергеевское, Майское, Сурожское, Клинцовское месторождения и др.) и ГИС K-MINE научно-производственным предприятием «Кривбассакадеминвест» и др.

Вторая группа представлена значительным числом комплексных разномасштабных отображений геологических объектов в среде кристаллического фундамента, поданных в виде традиционных двумерных картографических материалов – карт, профилей, разрезов, а также блок-диаграмм, которые по степени отражения объемности можно рассматривать как двумерные составные модели. По характеру структуризации они сравнительно легко (для подготовленных специалистов) могут быть векторизованы и на основе разработанных нами методических приемов переведены в формат цифровых структурно-петрологических моделей.

3. Содержание проектируемых работ

Разработана структура предполагаемых работ с обозначением состава работ, направлений обеспечения и сроков работ.

Выполнение намеченного комплекса работ имеет межведомственный характер. В качестве заказчика должна выступать государственная структура – Геологическая служба Министерства природных ресурсов Украины. Методологическое обеспечение и методическое сопровождение – ИГМР, ИГН, ИГОС НАН Украины. Выполнение основных работ по РЦСПМ – ИГМР, ИГН НАН Украины, отраслевые институты, научно-исследовательские и производственные организации Геологической службы, научно-исследовательские сектора университетов Украины.

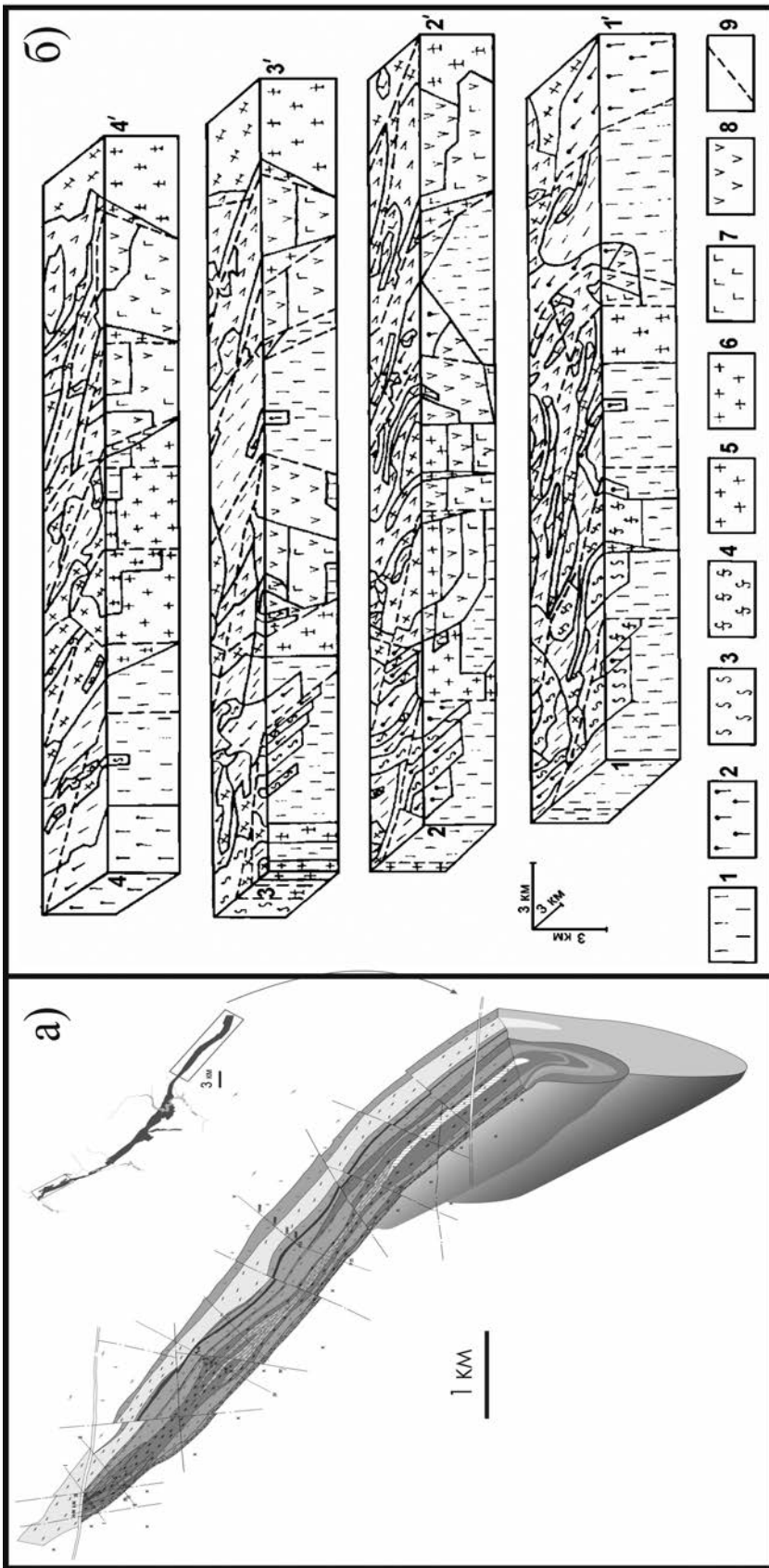


Рис. 2. Объемные модели геологического строения геосистем крупного (1:10 000) масштаба (а – южная часть Сорокинской структуры) и среднего (1:200 000) масштаба (б – площади Володарского и Кременевского массивов)

1 – гнейсы биотитовые; 2 – гнейсы амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые; 3 – кристаллические сланцы биотитовые, амфибол-биотитовые; 4 – кристаллические сланцы пироксен-амфиболовые; 5 – граниты; 6 – мигматиты; 7 – габбро, габбро-перидотиты; 8 – щелочные сиениты; 9 – тектонические нарушения, установленные по геолого-геофизическим данным

Fig. 2. 3-D models of geological construction for geosystems: a – large scale, 1:10 000 (the southern part of Sovokino area); б – middle scale, 1:200 000 (Volodarsk and Kremnevskij massives)

1 – gneisses biotitic; 2 – gneisses amphibol-biotitic, amfibol-pyroxenic; 3 – shists pyroxenic-amfibolic; 4 – shists biotitic, amfibol-biotitic; 5 – granites; 6 – migmatites; 7 – gabbro, gabbro-peridotites; 8 – alkaline sienites; 9 – tectonic disjunctives, defined on geological-geophysical data

Заключение

В данной публикации изложена концепция РЦСПМ «кристаллических» образований фундамента в пределах государственной территории Украины с освещением основ методологии и методов, имеющих предпосылок и наработок, целей, задач и ожидаемых результатов. При разработке концепции использовалась идея основных подходов регионального цифрового моделирования осадочной оболочки с соответствующей модификацией методологии, а также методических приемов, с принятием инновационной технологии цифрового структурно-литологического моделирования как базовой.

Предполагается реализация этой концепции в виде соответствующего проекта.

Цель такого проекта – создание РЦСПМ как электронного (цифрового) образа кристаллического фундамента территории Украины, отображающего его структурные, вещественные и функциональные характеристики, что должно служить основой для информационного обеспечения всех направлений геологической деятельности.

В качестве первоначального объекта моделирования предлагается УЩ по соображениям практической значимости и оптимальной геологической изученности, а также доступности для целевого доизучения. Дополнительной предпосылкой к выполнению проекта являются наличие примеров цифрового моделирования перспективных объектов локальной масштабности (месторождений), а также значительного числа традиционных двухмерных картографических материалов, которые могут быть переведены в цифровой формат. К этому следует добавить факт разработанности номенклатур магматических, метаморфических и метасоматических образований, а также региональных хроностратиграфических схем, что является теоретической основой для структурирования геологических объектов на формационной основе.

Однако ожидаются существенные трудности в реализации части базовых методологических вопросов – это общепризнанный факт разноречия имеющихся структурных и формационных схем (и даже отсутствие опорного определения самого термина

«формация»). В связи с этим возникает задача создания унифицированной системы указанных схем на основе унифицированных же определений.

Предлагаемый проект по стратегическому замыслу является частью составного проекта (программы) «Региональная цифровая структурно-вещественная модель земной коры Украины», цель которого – построение соответствующей супермодели как сплошного компьютерного (цифрового) образа всей земной коры, охватывающего кристаллический фундамент и осадочную оболочку в пределах государственной территории Украины.

Таким образом, ожидаемый результат – построение сплошной комплексной объемной супермодели земной коры – является инновационной системой многоцелевого информационного обеспечения всех направлений геологической деятельности по использованию и охране геологической среды, а также углубленного ее познания на уровне современных геоинформационных технологий.

Исходя из общегосударственной стратегической значимости проекта, понятно, что его реализация составляет прерогативу государственной же структуры – Геологической службы Министерства природных ресурсов Украины. Это определяет необходимость целевого госбюджетного финансирования в составе утвержденного перечня работ, ориентированного на выявление и изучение территорий под инвестиционные предложения.

Однако первичные затраты госбюджетного финансирования целесообразны с точки зрения текущих и долгосрочных (перспективных) факторов. Текущий фактор заключается в том, что затраты госбюджетного финансирования могут быть ограниченными, поскольку целевые научно-исследовательские работы по проекту (программе) должны проводиться главным образом в рамках бюджетов участвующих научно-исследовательских институтов.

Долгосрочный (перспективный) фактор экономической целесообразности включает следующие эффекты:

– повышение эффективности всех видов геологической деятельности за счет их раз-

деления на те, которые должны финансироваться из госбюджета и те, которые должны финансироваться инвесторами, а также внедрения инновационной технологии информационного обеспечения;

– реструктуризация задач государственного обеспечения геологической деятельности (государственной геологической съемки и региональных геологических исследований и др.), с учетом интересов инновационной деятельности.

Таким образом, создаются предпосылки для инновационного преобразования функций и структуры государственной геологической службы, а также оптимизации информационного обеспечения национальной геологической деятельности.

Инновационная оптимизация информационного обеспечения геологической деятельности неизбежно определяет повышение ее результативности по всем направлениям с соответствующими экономическими, производственными и социальными эффектами.

В связи со стратегической значимостью предлагаемого проекта с точки зрения государственной политики стаби-

лизации экономики Украины целесообразна постановка соответствующих научно-технических работ в рамках фонда и программ фундаментальных исследований с перспективой обоснования государственной программы с необходимым законодательным, материально-финансовым и научным обеспечением.

Предлагаемый проект не имеет прямых аналогов в мировой практике, тем не менее тенденции глобализации геологических идей отмечаются в деятельности международных геологических организаций (Международного геологического союза, Международной программы геологических наук ЮНЕСКО и др. – проект 624 «Единая геология»). Это предполагает неизбежность продвижения идеи регионального геологического моделирования раньше или позже, в той или иной форме в международной геологической деятельности. Поэтому является также своевременным представление данного проекта на международном уровне для организации сотрудничества с использованием существующих международных научно-технических фондов и программ.

Список литературы / References

1. Галецький Л.С. Атлас «Геологія і корисні копалини України». М-б 1:5 000 000 / Л.С. Галецький, Н.М. Чернієнко. – К., 2001. – 168 с.

Galets'ky L.S., Cherniyenko N.M., 2001. An Atlas of the geology and mineral deposits of Ukraine. Scale 1:5 000 000. Kyiv, 168 p. (in Ukrainian).

2. Белевцев Р.Я. Генезис и прогнозирование золотого и уранового оруденения в докембрии Украинского щита / Р.Я. Белевцев, А.Р. Белевцев, С.Д. Спивак и др. // Пошукова та екологічна геохімія. – 2011. – № 1 (11). – С. 66-78.

Belevtsev R.Ya., Belevtsev A.R., Spivak S.D. et al., 2011. Genesis and prognosis of ore and uranium mineralization in Precambrian of Ukrainian shield. *Poshukova ta ekologichna geohimiya*, № 1 (11), p. 66-78 (in Russian).

3. Бобров О.Б. Геологічна будова Софіївської зеленокам'яної структури (Середнє Придніпров'я, Український щит) / О.Б. Бобров, О.М. Бестужев, В.Д. Кузь // Мінер. ресурси України. – 2004. – № 4. – С.21-26.

Bobrov O.B., Bestujev O.M., Kuz V.D., 2010. Geological construction of Sofievka greenstones

structure (Middle Dnieper area, Ukrainian shield). *Mineralni resursy Ukrainy*, № 4, p. 21-26 (in Ukrainian).

4. Бобров О.Б. Зеленокам'яні структури Оріхово-Павлоградської зони: перший досвід геологічного опису. Ст. 1. Новогорівська структура / О.Б. Бобров // Мінерал. журн. – 2015. – № 4. – С. 68-77.

Bobrov O.B., 2015. Greenstones structures of Orekhovo-Pavlograd zone: the initial experience of geological description. Paper 1. Novogorivska structure. *Mineralogichnyy zhurnal*, № 4, p. 68-77 (in Ukrainian).

5. Бобров О.Б. Зеленокам'яні структури Оріхово-Павлоградської зони: перший досвід геологічного опису. Ст. 2. Чистопільська структура / О.Б. Бобров // Мінерал. журн. – 2016. – № 1. – С. 32-41.

Bobrov O.B., 2016. Greenstones structures of Orekhovo-Pavlograd zone: the initial experience of geological description. Paper 2. Chistopolska structure. *Mineralogichnyy zhurnal*, № 1, p. 32-41 (in Ukrainian).

6. Бобров О.Б. Гранулитовые структурно-формационные комплексы Украинского щита – европейский эталон. Путеводитель геологических экскурсий / О.Б. Бобров, В.П. Кирилюк, С.В. Гошовский и др. – Львов: ЗУКЦ, 2010. – 160 с.

Bobrov O.B., Kyryluk V.P., Goshovskiy S.V., Stepanuk L.M., Gurskiy D.S., Lysak A.M., Sivoronov A.A., Bezvinniy V.P., Zultsle V.V., Prihodko V.L., Shpylchak V.A., 2010. Granulite structural-formations complexes of the Ukrainian shield – the European standart. The handbook for geological excursions. Lvov: ZUKTS, 160 p. (in Russian).

7. Бородин Л.С. Петрохимия магматических серий / Л.С. Бородин. – М.: Наука, 1987. – 261 с.

Borodin L.S., 1987. Petrochemistry of magmatic series. Moscow, Nauka, 261 p. (in Russian).

8. Босевська Л.П. Структурно-літологічна характеристика соляних діапірів Закарпаття (у зв'язку з проблемами створення підземних сховищ, використання і охорони соляних ресурсів): автореф. дис. ... канд. геол. наук: спец. 04.00.21 «Літологія». – К., 2012. – 24 с.

Bosevska L.P., 2012. Structural-lithologic characteristics of the Transcarpathia salt diapirs (in view of the underground storage facilities construction, salt resources use and protection): the assay of candidate's thesis, spec. 04.00.21 Lithology. Kyiv, 24 p. (in Ukrainian).

9. Геодинамическая карта Украины / Гос. комитет Украины по геологии и использованию недр ГГП «Геопрогноз». Киев, 1993.

The geodynamic map of the Ukraine. State committee on geology and mineral resources, state geological party «Geoprognozis», Kiev, 1993 (in Russian).

10. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы / А.Н. Заварницкий. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 479 с.

Zavarytskiy A.N., 1955. Igneous rocks. Moscow: Izdatelstvo AN SSSR, 479 p. (in Russian).

11. Карта геологічних формацій докембрію Українського щита масштабу 1:500 000. Пояснювальна записка. – К.: ЦТЕ, 1991. – 116 с.

Map of geological formations of Precambrian, scale 1:500 000. Kyiv, CTE, 1991, 116 p. (in Ukrainian).

12. Кирилюк В.П. Особенности стратиграфических исследований нижнего докембрия / В.П. Кирилюк // Геол. журн. – 2013. – № 3 (344). – С. 101-113.

Kyryluk V.P., 2013. Peculiarities of Lower Precambrian stratigraphic investigations. *Geologichnyy zhurnal*, № 3, p. 101-113 (in Russian).

13. Круглов С.С., Арсірій Ю.О., Бобров О.Б. та ін. Тектонічна карта України масштабу 1:1 000 000. Київ: ДГС, 2007.

Kruglov S.S., Arsiiry Yu.O., Bobrov O.B., Veklych Yu.M., Velikanov V.Ya., Vyshnyakov I.B., Geychenko M.V., Gintov O.B., Dzyuba B.M., Yentin V.A., Znamenska T.O., Kalinin V.I., Lysak A.M., Lukin O.Yu., Nechayeva T.S., Pashkevych I.K., Pedanyuk G.I., Popaduk I.V., Poluhtovych B.M., Radzivil A.Ya., Rybakov V.M., Samsonov V.Y., Holodnyh A.B., Shymkiv L.M., Yatsojynskiy O.M., 2007. Tectonic map of the Ukraine, scale 1:1 000 000. Kyiv: DGS (in Ukrainian).

14. Магматические горные породы: классификация, номенклатура, петрография / под ред. О.А. Богатикова, В.И. Гоньшаковой и др. – М.: Наука, 1983. – Т. 1. – 365 с.

Magmatic rocks: classification, nomenclature, petrography / Bogatikov O.A., Gonsharova V.I. Moscow: Nauka, 1983, vol. 1, 365 p. (in Russian).

15. Хрущев Д.П., Компанец Г.С. Литология галогенных и красноцветных формаций Предкарпаття / Д.П. Хрущев, Г.С. Компанец. – Киев: Наук. думка, 1988. – 191 с.

Khrushchev D.P., Kompats G.S., 1988. Lithology of evaporite and red coloured formations. Kiev: Naukova Dumka, 191 p. (in Russian).

16. Хрущев Д.П. Структурно-литологические модели перспективных осадочных формаций / Д.П. Хрущев, А.П. Лобасов, М.В. Гейченко, Е.А. Ремезова, Л.П. Босевская, Ю.В. Кирпач, А.В. Степанюк // Мінер. ресурси України. – 2010. – № 4. – С. 39-44.

Khrushchev D.P., Lobasov A.P., Geychenko M.V., Remezova E.A., Bosevskaya L.P., Kyrpach Yu.V., Stepaniuk A.V., 2010. Structural-lithological models of promising sedimentary formations. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 4, p. 39-44 (in Russian).

17. Хрущев Д.П. Региональное структурно-литологическое моделирование осадочной оболочки / Д.П. Хрущев // Геол. журн. – 2013. – №3 (344). – С. 51-62.

Khrushchev D.P., 2013. Regional structural-lithological modeling of sedimentary cover. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (344), p. 51-62 (in Russian).

18. Бобров А.В. Main types of rock complexes and mineral deposits in the Ukrainian Shield // Geological Excursion Guidebook. – Kyiv: Geografika, 2002. – 168 p.

Bobrov A.B., 2002. Main types of rock complexes and mineral deposits in the Ukrainian Shield. *Geological Excursion Guidebook*. Kyiv: Geografika, 168 p. (in English).

19. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks* / Ed. R.W. Le Maitre. 2nd ed. – Cambridge University Press. 2002. – 236 pp.

Igneous Rocks, 2002. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks / (Ed. R.W. Le Maitre). 2nd ed. – Cambridge University Press., 236 p. (in English).

20. *Tales Set in Stone – 40 Years of the International GEOSCIENCE Programme (IGCP)* (Ed. Edward Derbyshire). Published in 2012 by the Global Earth Observation Section of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7. – Paris, France, 2012. – 140 p.

Tales Set in Stone – 40 Years of the International GEOSCIENCE Programme (IGCP) (Ed. Edward Derbyshire). Published in 2012 by the Global Earth Observation Section of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7, Paris, France, 2012, 140 p. (in English).

21. *Taylor S.R.* The continental crust: its composition and evolution / S.R. Taylor, S.M. McLennan. Blackwell, Oxford, 1985. – 356 p.

Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 356 p. (in English).

Статья поступила

04.05.2016

О ФОРМИРОВАНИИ ЗАПАДИННО-КАНАЛЬНЫХ СТРУКТУР МИГРАЦИИ

В.М. Шестопалов¹, В.Н. Бублясь²

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, НИЦ РПИ НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua*

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик НАН Украины, заведующий отделом гидрогеологических проблем Института геологических наук НАН Украины, директор Научно-инженерного центра гидрогеоэкологических проблем при Президиуме НАН Украины.

² *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: bublias@ukr.net*

Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник отдела гидрогеологических проблем.

Весьма распространенные на равнинных территориях суши и морского дна западинно-канальные структуры миграции рассматриваются как результат взаимодействия глобальной трещиноватости земной коры вибрационно-волнового генезиса и дегазации планеты. Рассмотрены общие закономерности возникновения и развития западин на суше и морском дне, ведущей роли трещиноватости литифицированных пород и ослабленных зон нелитифицированных пород над ними в постепенном переходе трещинной дегазации в трубоподобную, различия в последующих эпигенетических экзогенных процессах, наступающих после окончания активной фазы формирования западинно-канальной структуры. Отмечены выявленные признаки вторичной газовой активизации западинно-канальных структур. Среди возможного генетического разнообразия западин западины с глубинными корнями выделены как наиболее опасные для человеческой деятельности и как поисковые индикаторы глубинного скопления газов (метана, водорода и др.).

Ключевые слова: западины, дегазация, трещиноватость, вибрационно-волновые процессы.

ON FORMATION OF DEPRESSION-CHANNEL MIGRATION STRUCTURES

V.M. Shestopalov¹, V.N. Bublyas²

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Radioenvironmental Center of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua*

Doctor of geological-mineralogical sciences, professor, academician of NAS of Ukraine, head of the Department of Hydrogeological Problems in the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Director of Radioenvironmental Center of NAS of Ukraine.

² *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: bublias@ukr.net*

Candidate of geological-mineralogical sciences, senior research worker of the Department of Hydrogeological Problems.

The depression-channel structures widely developed in the flat areas of sea floor and dry land are considered as a product of interaction between the global earth crust fractures of the vibration-wave origin and degassing of the planet. The paper describes general peculiarities of the depression-channel structures generation and development on sea floor and dry land, the leading role of the lithified rocks fracturing and weakened zones of the overlying non-lithified rocks in the gradual transition of fracture degassing to degassing via channels, differences in subsequent epigenetic exogenous processes following the active phase of depression-channel structures formation. Revealed signs of secondary gas activation in the depression-channel structures were

© В.М. Шестопалов, В.Н. Бублясь, 2016

studied. Among the possible genetic diversity the deep-rooted depression structures were identified as presenting the greatest threat to human activities and serving as search indicators of deep gas accumulation (methane, hydrogen, etc.).

Key words: depression-channel structures, pockmarks and chimneys, degassing, fracturing, vibration-wave processes.

ПРО ФОРМУВАННЯ ЗАПАДИННО-КАНАЛЬНИХ СТРУКТУР МІГРАЦІЇ

В.М. Шестопапов¹, В.М. Бублясь²

¹ *Інститут геологічних наук НАН України, НІЦ РПД НАН України, Київ, Україна, E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua*

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, академік НАН України, завідувач відділу гідрогеологічних проблем Інституту геологічних наук НАН України, директор Науково-інженерного центру радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України.

² *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: bublias@ukr.net*

Кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник відділу гідрогеологічних проблем.

Досить поширені на рівнинних територіях суші і морського дна западинно-каналні структури міграції розглядаються як результат взаємодії глобальної тріщинуватості земної кори вібраційно-хвильового генезису і дегазації планети. Розглянуто загальні закономірності виникнення і розвитку западин на суші і морському дні, провідної ролі тріщинуватості літифікованих порід і ослаблених зон нелітифікованих порід над ними в поступовому переході тріщинної дегазації в трубоподібну, відмінності в наступних епігенетичних екзогенних процесах, що настають після закінчення активної фази формування западинно-каналної структури. Відмічені виявлені ознаки вторинної газової активізації западинно-каналних структур. Серед можливого генетичного різноманіття западин западини з глибинним корінням виділені як найбільш небезпечні для людської діяльності і як пошукові індикатори глибинного скупчення газів (метану, водню та ін.).

Ключові слова: западини, дегазація, тріщинуватість, вібраційно-хвильові процеси.

Введение

До последнего времени в региональной гидрогеологии преобладали взгляды о том, что в пределах платформенных структур преобладают относительно выдержанные проницаемые и слабопроницаемые пласты, обеспечивающие однотипность условий вертикальной гидравлической связи этажно залегающих водоносных горизонтов на значительных площадях (так называемая «кусочная» однородность при схематизации условий). При этом считалось, что гидравлически раскрытые разломы, тектонические трещины, а также литофациальные окна – достаточно редкое явление.

Еще одной специфической особенностью существующих подходов является исключительное использование в решении практических и теоретических задач гидрогеологии лишь механизмов массопереноса. Между

тем в природе существуют два способа передачи энергии, которая может быть движущим началом в формировании различных процессов. Во-первых, это перенос энергии с помощью движущегося вещества (воды, твердых частиц, растворенных во флюидах солей, коллоидов и т.п.). До сих пор эти способы передачи энергии в основном самостоятельно не анализировались, ибо сам массоперенос рассматривался как мерило и главный результат затраченной при этом энергии. Во-вторых, это волновой перенос энергии, при котором частицы вещества испытывают ограниченные в пространстве колебательные движения. Передача энергии осуществляется при этом импульсами и зависит от амплитуды и частоты колебаний. Волновая передача энергии в геологической среде осуществляется под влиянием различных природных и техногенных воздействий.

Выполненные в этом направлении исследования свидетельствуют не только об исключительной роли волновых процессов в формировании глобальной трещинной структуры земной коры планеты, но и в преобразовании вещества, изменении его состава и параметров массообмена, в создании и развитии динамических зон аномальной фильтрации и миграции, обеспечивающей интенсификацию вертикальной взаимосвязи этажных флюидонапорных систем.

Наряду с этим весьма важным определяющим процессом, формирующим аномальные локально выраженные, но массовые пути вертикальной миграции в земной коре является дегазация Земли, осуществляющаяся в колоссальных объемах на протяжении, по-видимому, всей геологической истории планеты. В процессе собственно дегазации в миграционный процесс постепенно вовлекаются разнообразные флюиды с ведущей водной компонентой и даже местами дезинтегрированные компоненты нелигифицированных и лигифицированных пород.

В результате, кроме ограниченных по территории зон спрединга, субдукции, вулканов, на планете сформировалась разветвленная система газово-флюидной миграции в пределах разломно-трещинной и западинно-канальной сети. Последняя весьма распространена на суше и в морских условиях. Но с единых позиций, насколько нам известно, такая система освещена недостаточно. В данной публикации мы попытались это восполнить.

Вибрационно-волновая энергия и трещиноватость

Основными процессами, предопределяющими возникновение и распространение волновой энергии, является неравномерное вращение Земли в течение суток, месяцев, лет, многолетних периодов (в том числе тысячелетних и миллионнолетних). Это также сейсмические процессы – землетрясения, форштоковые и афтерштоковые возмущения. Если учесть все сейсмические толчки и колебания, то они на нашей планете происходят каждую минуту и распространяются на большие расстояния. При

этом основную их часть можно зафиксировать лишь инструментально. Это также многочисленные штормы в океанах и морях. Передача от них энергии в виде волн фиксируется на всех континентах, несмотря на огромную отдаленность друг от друга. Так, сейсмостанции Ташкента, Ашхабада, Новосибирска, расположенные в центральной части огромного Евразийского материка, четко фиксируют колебания, возникающие под влиянием штормов в Атлантике или Тихом океане.

Изменение скорости вращения Земли в соответствии с ротационной теорией [Moody et Hill, 1956; Bostrom, 2000; Тяпкин, Довбинич, 2009; Ротационные..., 2007, Собственные..., 1964 и др.] является ведущим процессом, определяющим пространственную ориентировку и параметры сформировавшейся глобальной трещиноватости разной размерности и порядка.

Образование этой трещиноватости увязывается с напряжениями, возникающими при изменении сил сжатия – растяжения Земли в результате изменения скорости ее вращения под влиянием изменяющегося гравитационного взаимодействия Земли с различными космическими телами (Луна, Солнце, планеты, положение по отношению к галактическим массам).

Постепенно становится все более ясным, что это весьма мощный энергетический процесс. Суммарный энергетический баланс волновых колебаний литосферы Земли составляет около 27×10^{40} эрг в год, что на 12 порядков больше энергетического баланса всех тектонических, сейсмических и геофизических процессов [Селюков, Стигнеева, 2010]. В результате их воздействия в земной коре и верхней мантии накапливаются напряжения, которые при превышении ими предела прочности пород тектоносферы приводят к образованию системы трещиноватости, разделяющей земную кору на блоки разного порядка – от сотен километров до нескольких метров.

При этом выраженность на земной поверхности этих систем в зависимости от конкретных геолого-ландшафтных условий может быть весьма разной. Исследования по этой проблеме, выполненные в 60–80-е годы XX ст. [Moody and Hill, 1956; Марты-

нова, 1969; Шульц, 1973; Шаблинская, 1977 и др.], показали, что в каждом изученном регионе выделяются до восьми систем основных разломов земной коры и сопутствующей им трещиноватости. При этом параметры простираения систем разломов разных регионов в основном согласуются, что свидетельствует об их подчиненности единым глобальным процессам. Позднее результаты этих исследований получили дальнейшее развитие [Анохин, Одесский, 2001 и др.].

Усиление и снятие дополнительных напряжений, которые функционируют в основном в рамках глобальной сети трещиноватости ротационного генезиса, активизируются изменениями угловой скорости вращения Земли, лунно-солнечными приливами, деформирующими поверхность геоида, и другими процессами. Под влиянием этих процессов, имеющих периодический временной характер, выявляется ритмическая сменяемость состояния разуплотнения и сжатия по системам трещин. В скальных и полускальных породах смена ритмов сжатия – растяжения хорошо фиксируется по степени раскрытия трещин. В сыпучих осадочных отложениях эти изменения обычно более завуалированы, но также могут быть выявлены.

Изменение поля деформаций земной толщи пород независимо от теоретических построений было выявлено и зарегистрировано как научное открытие Вартаняна – Куликова [Вартанян, 1998]. Ими представлена технология мониторинга гидрогеодеформационного поля как основа выявления изменяющегося во времени и пространстве поля деформации.

Использование скважинных деформографов позволило установить, что в некоторых местах изменения напряжения пород могут происходить достаточно быстро. Скачки деформаций могут длиться минуты, часы, сутки. По данным В.П. Рудакова [Рудаков, 1993] уверенно выделяются деформационные ритмы годичной периодичности. Они порождены годовым изменением скорости вращения Земли.

Интересные результаты были получены при анализе аварийности газовых сетей в г. Одесса и их связи с геодеформацион-

ными процессами [Учитель и др., 2000]. Было установлено, что значительная часть аварий зависит не от технического состояния газового хозяйства, а происходит под влиянием различных геодеформационных процессов в земной коре. При этом были выделены:

- сезонные максимумы аварийности (преимущественно май – июнь и октябрь – декабрь), обусловленные внутрigoдовым изменением скорости вращения Земли;
- существенное увеличение аварийности (в десятки раз) накануне катастрофических землетрясений в смежных регионах.

Выполненные параллельно с указанными исследованиями наблюдения за выделением газов показали совпадение с периодами повышенной аварийности газовых систем выделения газов глубинного естественного происхождения, свидетельствующие о периодическом увеличении раскрытости недр на значительные глубины.

Исключительно важная роль волновых процессов этим не ограничивается. Интересные результаты получил В.Л. Ильченко [Ильченко, 2000]. На примере анализа керн Кольской сверхглубокой скважины и моделирования разрушения отдельных прослоев пород на глубине было показано, что упругие стоячие волны способны выполнять эту работу в массиве кристаллических пород. При моделировании были использованы характеристики упругих свойств пород, вскрытых скважиной, и волновая энергия, аналогичная лунно-солнечным воздействиям на Землю. В результате модельного эксперимента было подтверждено образование в геологическом разрезе интервалов пород с напряжением растрескивания вплоть до деградации отдельных прослоев. При моделировании распространения стоячих волн в глубь горного массива удалось достаточно удачно оценить границу отражения упругих волн. В результате была получена удовлетворительная сходимость модельных и фактических прослоев деградации пород массива по глубине.

Для более полного понимания роли волновых процессов важны результаты исследования рудообразования [Богацкий, 1986; Наумов, 2007; Нестеренко, Чиков, 1992 и др.].

Формирование рудных месторождений в тектонически активных участках в упомянутых и других работах рассматривается не как одноактный мощный процесс, а как система низкоамплитудных сейсмовибрационных влияний, которые предопределяют перераспределение рудного вещества в значительном пространстве и концентрацию его в определенном относительно ограниченном объеме.

Энергетическое волновое воздействие на породы, которое может осуществляться периодически, но в течение длительного геологического времени, вызывает многочисленные эффекты виброползучести, виброрелаксации (снижение напряжения в геосистеме), виброусталости (снижение нагрузки при разрушении пород), вибромеханохимии (ускорение химических реакций, растворения, распада и синтеза соединений и т.д.). Г.Б. Наумов [Наумов, 2007] подчеркивает, что в таких условиях образуются регулярная параллельная слоистость, оvoidные структуры, квазислоистые концентрации тяжелых (в том числе рудных) зерен. В структуре зон дислокаций могут возникать локальные и микроскопические «сейсмофокальные зоны», которые фокусируют волновую энергию. Их развитие происходит в импульсном режиме по сценарию длительного накопления энергии, которая поступает из внешней системы. Все это осуществляется в процессе многочисленных сейсмических возмущений, которые разделены во времени, но сконцентрированы в пространстве.

Такая вибрация способствует ускорению процессов диффузии и самоочистки минеральных зерен. По данным [Епиколомпиан, 1989], в условиях не сцементированной размельченной среды реакционная активность локального взаимодействия повышается на порядки даже в сравнении с жидкой средой. Согласно результатам экспериментов, переносчик волновой энергии ультразвук воздействует на дегидратацию и литификацию осадочных пород, что связано с перераспределением химических элементов в системе.

Результаты этих исследований конкретизируются в работах с четкой прикладной направленностью [Селюков, Стигнеева,

2010 и др.]. Наблюдения на магистральных газопроводах свидетельствуют о том, что в течение года происходит 15–20 тыс. и более циклов сжатия – растяжения в соответствии с динамикой движения земной поверхности. Вследствие этих малоамплитудных, но многочисленных пульсаций давления и агрессивной среды происходят коррозионное растрескивание и разъедание металла труб. Определяющими в зарождении трещин являются дефекты в металле. Но такая же ситуация существует и в породах: импульсные вибрационные нагрузки и агрессивная среда предопределяют зарождение микротрещин, приуроченных к дефектам в минеральных зернах сыпучих пород либо в минеральных неоднородностях и дефектах скальных и полускальных пород. В микротрещинах, наряду с обычным химическим взаимодействием, происходят гидролиз продуктов коррозии, подкисление и химическая активизация среды. В зависимости от химического и минерального состава пород, наличия различных типов дефектов в микрообъектах среды образуются весьма пестрые условия химических взаимодействий в системе «твердые разновидности вещества – жидкость – газ». Выявлены также механизмы возникновения микротрещин и дальнейшего разрушения твердого вещества под влиянием бикарбонатной среды, которая воздействует на катоднополяризованные участки (металлические включения) пород.

Обобщая приведенные и другие результаты исследований, приходим к выводу, что вибрационно-волновая активность планеты и ее частей от различных источников и на разных уровнях приводит к возникновению и развитию сложного комплекса воздействий на геологическую среду. Среди них можно выделить следующие:

- периодическое механическое сжатие, разуплотнение, трение частиц несцементированных пород или микро- и макроблоков скальных и полускальных пород с частотой десятки тысяч циклов колебаний в год на протяжении многих тысячелетий и миллионов лет, при этом нарастающее максимальное воздействие реализуется прежде всего на границах неоднородности пород, проявленной под влиянием комплекса вибрационных процессов;

– газохимическое воздействие, обусловленное повышенным выходом газов и агрессивных жидких компонентов при механической деструкции пород;

– радиоактивное влияние, обусловленное возрастанием концентрации радона и торона в активных геодинамических зонах, которые вследствие облучения вещества пород и воды также способствуют их изменению;

– усиление электрического воздействия на компоненты геологической среды в аномальных геодинамических зонах по сравнению с фоновыми участками.

Дегазация Земли и аномальные западинные структуры

Весьма важным процессом, определяющим начальный и, вероятно, последующие этапы формирования аномальных зон, является глубинная дегазация Земли. Рассмотрим этот процесс прежде всего на примере формирования западин в морских условиях. Впервые эти западины (на английском языке – *rockmarks*) были изучены у берегов Канады в 60-х годах XX ст. Позднее они были выявлены в очень больших количествах в Атлантическом океане у берегов Западной Африки, Испании, а также в Средиземном, Норвежском, Баренцевом, Чукотском морях, у берегов Китая и на многих других участках Мирового океана. Во многих случаях при небольших уклонах дна размещение западин имеет хаотический вид. На некоторых участках просматривается их линейная приуроченность. С увеличением уклонов дна их размещение становится более определенным. Они образуют квазилинейные цепочки, которые вытянуты в направлении уклона дна. На снимках прослеживается их эволюция во времени – они постепенно сливаются, образуя вытянутые балки, которые не связаны с процессом переноса обломочного материала с суши (отсутствуют конусы выноса).

На некоторых участках было выполнено сейсмическое профилирование. Его результаты очень показательны. На одном из таких участков установлено, что западины расположены на расстоянии 200–600 м от разлома. Но подзападинные каналы подходят по не нарушенным породам к разлому под

уклоном. То есть их корневая связь с разломами в таких случаях зафиксирована.

Существуют различные модели возникновения морских западин. Наиболее вероятной является модель газового генезиса. Она подтверждается результатами сейсмического профилирования в различных регионах и непосредственными наблюдениями. В частности, у берегов западной Африки, в Норвежском море и в других местах было выявлено, что под западинами находятся вертикальные газопроводящие каналы (трубы), которые прослеживаются в ряде случаев на большую глубину. В работе [Cathles et al., 2010] описан вероятный механизм образования подзападинного канала и западины. Согласно этому механизму, поступающий снизу газ встречает на своем пути барьеры различного генезиса с низкой проницаемостью и накапливается под ними. После накопления дополнительного давления, достаточного для разрыва барьеров, газ прорывается вверх, нарушая целостность зерновых контактов в осадочных породах, отжимая и вовлекая за собой воду и некоторую часть зерен пород в виде суспензии. В результате образуется своеобразная газоводонасыщенная труба (*gas chimney*), которая по своим параметрам проницаемости и структуре твердого вещества существенно отличается от окружающего массива пород (фона). Применение технологии 3D сейсмических исследований позволяет уверенно обнаруживать подобные трубы (каналы) (рис. 1).

Наблюдениями установлено, что рыхлые отложения выносятся водно-газовой смесью на поверхность дна и транспортируются придонными течениями. В ряде случаев фиксируется эрозия донных грунтов вытекающими из глубин водно-газовыми струями, которые разуплотняют, суспензируют донные отложения и поднимают их в придонные течения. Важно то, что во многих случаях наблюдениями зафиксирован выход газа непосредственно из западин.

Детальные исследования результатов сейсмического изучения морских склонов у берегов Намибии [Moss, 2010] позволили установить, что часть каналов возникла в результате взрывного прорыва отложений водно-газовой смесью с весьма высоким избыточным давлением. Другая часть кана-

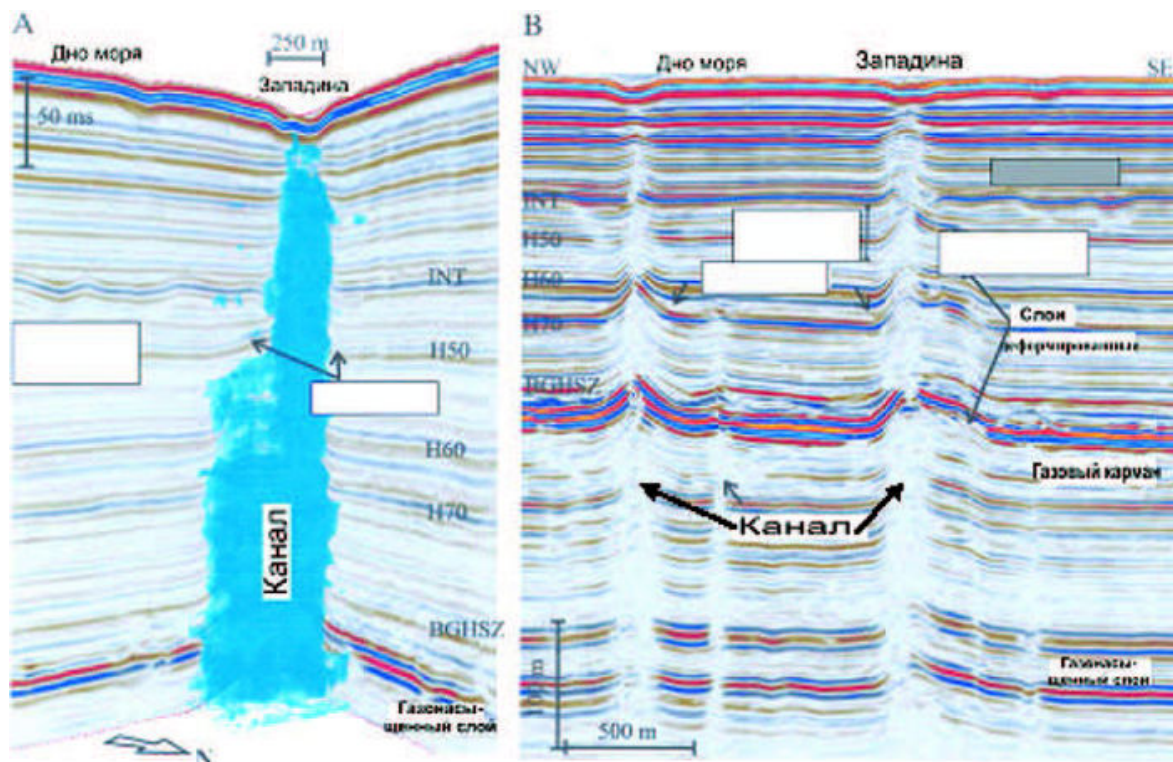


Рис. 1. Сейсмический разрез с преобразованием интервальных скоростей, выявляющий наличие подзападинных и слепых каналов дегазации [Plaza-Feverola Andreia et al., 2011]

Fig. 1. Seismic section with interval velocities transformation, detecting degassing channels beneath the depression floors as well as blind degassing channels [Plaza-Feverola Andreia et al., 2011]

лов формировалась при более умеренных избыточных давлениях и более спокойных режимах восходящего проникновения водно-газовой смеси. Установлены значительная длительность функционирования каналов (до 10 млн лет в неогене), наличие перерывов с фиксированными погребенными западинами. Во многих случаях обнаруживается возобновление активности водно-газового выноса из каналов в плейстоцене. Наличие в молодых отложениях большого количества органики, постепенное уплотнение и диагенетические процессы, результаты изотопных определений углерода в газовых компонентах восходящих флюидов свидетельствуют о том, что углеводородный газ (преимущественно метан) имеет два источника – органику осадочных отложений и глубинные абиотические очаги образования. Глубинность восходящих газов во многих случаях подтверждается наличием в смеси водорода и гелия.

При изучении механизмов образования выходов газа из газонасыщенных коллекто-

ров, находящихся под слоями глин, были выполнены эксперименты [Harrington, Hofsmann, 1999], которые показали, что растрескивание глин вызывается высоким давлением газа. На больших глубинах, где породы в значительной мере литифицированы и дополнительно упрочнены, разрыв сплошности слабопроницаемых пород (так называемый «гидроразрыв пласта») происходит при относительно высоких давлениях (нередко это «газоразрыв»).

Установлено, что для образования трещиноватости достаточно, чтобы давление газа достигло 75–90% литостатического давления [Moss, 2010]. Прочность на растяжение пород может изменяться от <2 до ≥ 15 мПа (от глин до магматических пород, соответственно). С учетом нарастания давления газа с глубиной сделаны предположения, что разрыв в литифицированных породах может происходить на глубинах более 500 м, в нелитифицированных алевритах – около 30 м, а в песках – уже в пределах первых нескольких метров.

При этом мы предполагаем, что, по-видимому, заложенная в кристаллическом основании и поддерживаемая циклическим глобальным и региональным изменением напряжения (сжатия – растяжения) трещиноватость проявляется в виде эпигенетически измененных зон в нелитифицированном либо слаболитифицированном осадочном чехле. Эти изменения, очевидно, касаются и неких скрытых аномалий уменьшения прочности и местами увеличения проницаемости осадочных пород. Именно они и выступают в качестве предпочтительных мест образования прорыва газов и формирования газовых труб.

Практические работы по изучению глин в акватории Северного моря показали наличие дискретных путей миграции в глинах под морскими западинами и выводными каналами сипов [Moss, 2010].

Лабораторные эксперименты, имитирующие образование западин [Woolsey et al., 1975], выявили, что в зависимости от природы и мощности отложений и энергии выделяющегося флюида могут образовываться «взрывные» западины, наполненные газом вздутия (купола), которые после истечения газа также превращались в западины, грязевые вулканы (при мощном слое перекрывающих глин). Наблюдения также показали, что важную роль в формировании западин могут играть землетрясения. На побережье северо-западной Англии во время землетрясения свидетели наблюдали выброс большой массы песка, воды и камня на высоту выше роста человека. На месте выброса образовались воронки диаметром более 500 м. Здесь же возникли многочисленные трещины общей длиной около 0,8 км, изливавшие воду [Moss, 2010].

Аналогичные события при крупном землетрясении произошли на одной из низменностей района Тохоку в Японии. Здесь образовались многочисленные песчаные вулканы и западины диаметром до 8 м и глубиной 1,5 м, которые извергали воду и песок [Tohno et Shamoto, 1983].

В Петрском заливе в Греции площадью 800 км² отложения в переходной зоне между плейстоценом и голоценом весьма газонасыщены. После землетрясения здесь

были обнаружены донные западины диаметром 25–150 м и глубиной до 15 м [Hasiotis et al., 1996]. В ряде мест зафиксированы участки с плотностью западин 80–150 штук на 1 км². Большинство из них активно дегазировали, а некоторые, по-видимому, выпускали смесь газа, воды и песчано-алевритистую смесь. Автоматический замер температуры морской воды над дном показал пульсирующее ее повышение перед землетрясением.

Пробы отобранного из донных западин газа фиксируют в основном такой состав (%): метан – 60–99; азот – до 20; углекислый газ – до 10; водород – до 2,5; гомологи метана – до 4,7; сероводород – сл.

Параметры донных западин отличаются от западин на суше. Статистическая обработка замеров по данным 57 публикаций показала логарифмическую зависимость между диаметром и глубиной донных западин. При этом средняя статистическая оценка диаметра составляет 128 м, а глубины – 9,6 м [Pilcher, Argent, 2007]. В этом случае средние глубины донных западин существенно превышают глубины западин на суше. Вероятно, это свидетельствует о повышенной газовой активности донных западин и различиях в экзогенных процессах формирования западин в море и на суше.

Рассмотрим теперь, действительно ли газовый фактор проявляется в условиях западин суши.

К сожалению, здесь такие обширные исследования, как в море, не велись. И все же некоторые результаты получены. По данным [Шестопалов и др., 2007; Шестопалов, Макаренко, 2013], геофизическими исследованиями выявлена подзападинная аномалия до глубины 50–60 м. Еще более однозначные результаты опубликованы в [Ларин и др., 2010]. Использование метода микросейсмического зондирования, который успешно применяли для поиска алмазных трубок взрыва, позволило выявить под одной из западин канал диаметром 350 м и глубиной более 7 км. Пористость пород в этом канале была аномальной. Замеры концентрации водорода дали результат 1,5–1,7%. С учетом потерь при отборе он мог достигать 2,5%, что коррелирует с данными по морским западинам. Следует отметить,

что система отбора газа была такой, чтобы исключить учет газа неглубинного происхождения. Более концентрированные выделения газа, которые привели к образованию гремучей его разновидности (смесь из более 4% водорода и воздуха) и довольно мощным взрывам, зафиксированы в Сасово Рязанской области (объемно-вакуумный взрыв мощностью около 30–50 т тротила, 1991 г.), около Курской АЭС в 1999 г. [Портнов, 2004], а также возле Марлен во Франции в 1967 г. В 2014 г. на Ямале и Таймыре в результате взрыва возникли глубокие воронки [Богоявленский, 2014]. В одной из них было установлено выделение газа метана аномальной концентрации. Взрывное образование западины и выброс из подзападинного канала зафиксированы на острове Родос (Греция) [Hanken et al., 1999]. Здесь вокруг центрального понижения обнаружены кольца обломков раздробленных пород.

Если предположить пульсационный режим выходов газа в море и на суше, то в периоды активизации в донных условиях под давлением выбрасывается водно-газовая смесь с захватом рыхлого материала. В условиях суши можно ожидать, что в связи с наличием зоны аэрации газ выходит на поверхность лишь с небольшой примесью парообразной влаги без капельно-жидкой и тем более без струеобразной водной компоненты. Механический вынос сыпучего материала может осуществляться лишь в редких случаях при взрывном выбросе газа.

Аномальный вынос газа, в составе которого водород имеет важное значение, приводит к активизации его взаимодействия с вмещающими породами. При этом водород, будучи весьма агрессивным восстановителем, вступает в реакцию с кислородсодержащими минералами и органическими соединениями [В.Н. Ларин, Н.В. Ларин, 2008], изменяет минеральный состав контактирующих пород и образует воду и метан. При этом пористость и проницаемость вмещающих пород увеличиваются, а возникшая вода и газ вовлекаются в общий массообмен. Учитывая, что этот процесс осуществляется по мере подъема водорода через толщу пород мощностью в многие десятки и сотни метров неравномерно, возни-

кающие неоднородности вторичной пористости при наличии вибрационного фона способствуют некоторой усадке пород и формированию отрицательных форм рельефа – западин. При этом аномальность пористости в этих каналах продолжает сохраняться и поддерживаться последующей подпиткой и воздействием водорода. Эти процессы взаимодействия водорода и вмещающих пород происходят в подзападинных каналах и под дном моря, и на суше.

В периоды затухания выноса газов, в условиях морского дна и наличия тесной гидравлической связи морской воды с подземной в придонной гидрогеологической системе, массообмен между ними будет определяться соотношением фаз напорного режима каждой из упомянутых сред и иметь в основном малоградиентный характер.

В условиях суши в этот период происходят аномальный водный перенос материала из окружающего поверхностного водосбора в западину, его частичная переработка и активный нисходящий массоперенос [Шестопапов и др., 2007], в основном определяющий темпы и направленность дальнейшего развития западин и их параметров.

Минимальная дегазация в этот период может играть лишь вспомогательную роль в процессах дальнейшего формирования западин и их подзападинных каналов.

Таким образом, донные западины формируются в основном в результате выброса водно-газового и твердого материала в морскую среду. А западины суши, кроме начальной фазы, предопределяющей газовое зарождение западин, и в периоды существенной газовой активизации, продолжают формироваться в результате нисходящего массопереноса (экзогенные процессы) и переработки поглощаемого материала в их аномальной зоне.

Взаимосвязь линейных трещинных и западинных систем

С учетом изложенного выше рассмотрим взаимосвязь и развитие линейных и округлых (блюдцеобразных) геодинамических зон аномальной фильтрации и миграции. Прежде всего из приведенных выше данных следует, что возникшая под влиянием рота-

ционных сил трещиноватость и вмещающие ее скальные и полускальные породы претерпевают комплекс последующих изменений под воздействием вибрационных механических сил, газохимического и других видов воздействия. При этом упомянутые трещины выполняют роль отражающих поверхностей и концентрируют вокруг себя стоячие волны, которые усиливают импульсное воздействие на смежные с трещинами породы. В результате изменяется околотрещинная проницаемость пород, возникают гидро- и газохимические микроаномалии, которые влияют на изменение состава околотрещинного флюида и соответственно на дальнейшие изменения состава и параметров притрещинных пород. Натурные наблюдения показывают, что в выходящем на поверхность массиве скальных пород околотрещинная среда может находиться на разных стадиях переработки и деградации от практически визуально не измененных пород до образования мелких вывалов измельченных до размеров дресвы обломков (чаще всего в местах пересечения трещин). Но по мере перекрытия скальных пород осадочными рыхлыми и слабосцементированными породами в условиях равнинных территорий проявление упомянутой выше трещиноватости постепенно ослабевает и частично замещается округлыми (продолговато-округлыми и другими замкнутыми) понижениями – западинами. В результате выполненного анализа космоснимков территорий различных континентов были отмечены тенденции связи возникновения и развития западин с трещиноватостью. Прежде всего выявлено, что западины, за редкими исключениями, не развиваются в пределах территорий с расчлененным рельефом. Далее, в большинстве случаев четко прослеживается приуроченность и, следовательно, подчиненность западин трещинным системам. В частности, были выявлены следующие соотношения трещин и западин:

1. Линейные трещинные системы (без заметной вторичной трансформации пород вдоль трещин), которые образовались в скальных или полускальных породах, выходящих на дневную поверхность или залегающих на небольшой глубине (первые метры).

2. Линейные трещинные системы, образовавшиеся в скальных или полускальных породах, залегающие на небольшой глубине и подвергшиеся начальной трансформации с отдельными слабо выраженными западинноподобными образованиями в системе трещин (рис. 2).

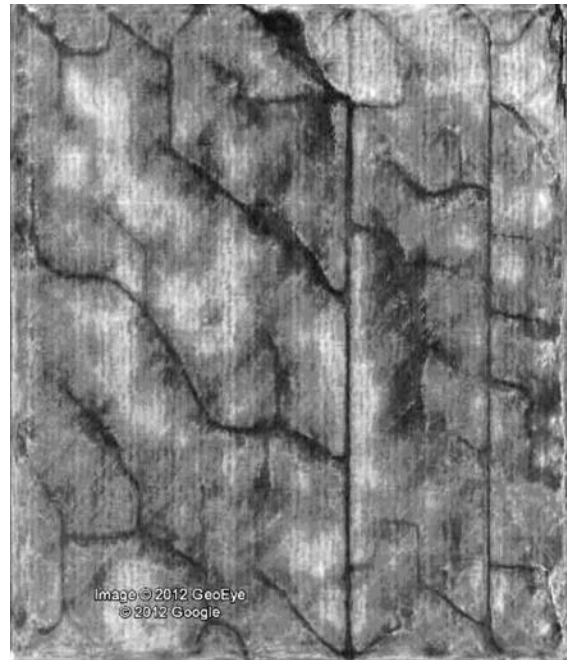


Рис. 2. Линейные трещинные системы со слабо выраженными западинно-подзападинными образованиями

Fig. 2. Linear fracture systems involving weakly expressed forms in depressions and beneath depression floor

3. Частично выраженные линейные трещины, возникшие в скальных и полускальных породах, перекрытых толщей нелигифицированных пород (мощностью примерно десятки метров) с более выраженными западинноподобными формами, которые четко связаны с трещиноватостью (рис. 3).

4. Западинные системы, связь которых с трещинами подтверждается линейной вытянутостью отдельных скоплений западин (мощность рыхлых и слабосвязанных покровных отложений достигает сотен метров в пределах относительно стабильных платформ или тысяч метров в пределах структур геодинамической активизации) (рис. 4).

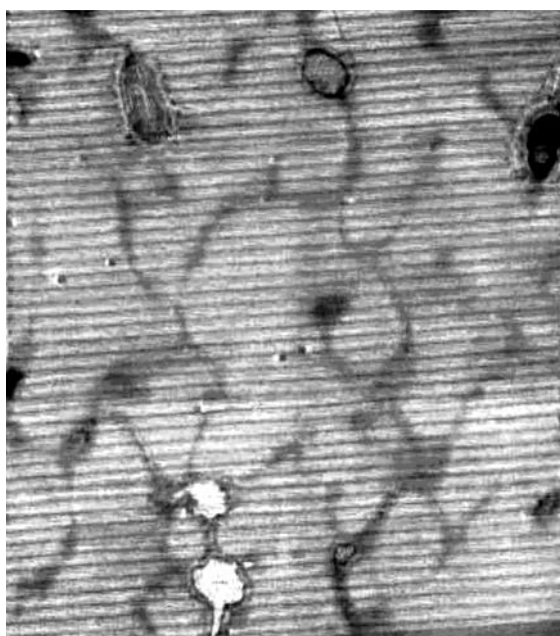


Рис. 3. Частично выраженные линейные трещины с западинно-подзападинными формами

Fig. 3. Partially expressed linear fractures involving forms in depressions and beneath depression floor



Рис. 4. Проявление линейной вытянутости отдельных групп западин

Fig. 4. Linear elongation of certain depression groups

5. Западинные системы, связь которых с трещиноватостью либо не прослеживается, либо проявляется при использовании специального анализа. Перекрытость трещинных систем в скальных или полускальных породах достигает многих сотен или тысяч метров в пределах относительно стабильных геологических структур.

Судя по приведенной типизации соотношения линейных и западинных форм, основной причиной постепенного замещения проявлений первых вторыми и уменьшения признаков их видимой связи являются увеличение мощности перекрывающих рыхлых и слабосвязных пород и, по-видимому, особенности соотношения их литологического состава. Вероятно, барьерные свойства этих пород постепенно уменьшают возможности линейной разгрузки вещества (прежде всего газов) и энергии на поверхность Земли. В результате происходит все большая их концентрация в отдельных ослабленных узлах, которые нередко образуются на пересечении трещин.

Концентрация в этих узлах относительно более активного переноса флюидов (в основном газов), образующих каналы, впоследствии поддается воздействию волновой энергии, электрическим процессам, локальной дальнейшей циркуляции флюидов и их химическим аномальным взаимодействиям с вмещающими породами. Все эти процессы, взаимодействуя друг с другом, в комплексе создают единую локальную систему «газовый очаг – восходящий канал – западина», которая проявляется на поверхности Земли локальным понижением, а в приповерхностных слоях – комплексом изменений литологии, структуры отложений, геохимическими и параметрическими особенностями, отличающими их от фоновых образований.

Размеры западин и плотность их размещения зависят от комплекса процессов и факторов – интенсивности и частоты циклов дегазации, барьерных свойств покровных литифицированных и нелитифицированных образований, конфигурации и особенностей трещиноватости скальных и полускальных пород. Последние влияют как на интенсивность массопереноса, так и на особенности волновых процессов в осадоч-

ной толще, взаимодействие жидких флюидов (подземных вод) в многоэтажной системе проницаемых и слабопроницаемых пластов осадочных пород, интенсивность экзогенных процессов и др.

Следует особо отметить, что линейные проявления трещинных систем скальных пород фундамента не исчезают полностью при увеличении мощности осадочных отложений до многих сотен и тысяч метров. Они очень хорошо препарируются при рельефообразовании в условиях поднятия массива пород (понижения базиса эрозии) и, соответственно, активизации эрозионных процессов. Унаследованность элементов эрозионной системы (отрезков долин рек, ручьев, оврагов, балок) с глубинной трещиноватостью прослеживается повсюду. Но в этих условиях образование западин не происходит вообще или встречается крайне редко.

Очевидно, что эрозионные процессы обуславливают разуплотнение осадочной толщи отложений, вызывая улучшение связи в зонах эрозии между флюидами трещинной системы нижележащих скальных пород и разуплотненных образований покровной толщи. Осуществляется это прежде всего в результате разгрузки горного массива от веса эродированных пород, активизации вертикальных газообменных, гидродинамических и гидрохимических процессов, а также, вероятно, нарастающих вибрационно-механических воздействий. Таким образом, вследствие линейной активизации эрозионных и сопутствующих им процессов массопереноса и вибрационно-волновых происходит линейное рассредоточение их воздействий, и потребность в узловой концентрации этих процессов в развитии западинно-канальных систем постепенно исчезает.

Многие специалисты увязывают генезис западин лишь с экзогенными процессами – суффозией, карстом, криогенезом и др. Такой подход к зарождению и развитию этих специфических структур вынуждает упомянутых авторов находить связь их расположения с геоморфологическими элементами районирования прежде всего с террасами и поймами рек и озер. Выше мы установили, что важным условием возник-

новения западин является равнинность территории. Речные и озерные террасы характеризуются, как правило, значительной равнинностью. Но изучение плотности распределения западин в пределах упомянутых геоморфологических подразделений показывает, что их сгущения расположены крайне неравномерно. Так, площадь западин в левобережной части террас Днепра от Киева и выше по течению реки колеблется от 1 до 3–4% общей территории. А южнее Киева на стыке Киевской, Черниговской, Полтавской и Черкасской областей площадь, занятая западинами, достигает 10%, а их количество на единице площади возрастает в несколько раз. Очевидно, что скопление этих западин никак не связано с геоморфологическими подразделениями. С учетом рассмотренной выше их привязки к глубинным трещинным системам можно предположить, что территория на стыке упомянутых четырех областей характеризуется повышенной активностью глубинной трещиноватости. Возможной причиной этого является глубинный плюм. Судя по повышенной плотности активных (развивающихся) западин, активизация плюма реализуется как через динамическое проявление трещиноватости, так и, по-видимому, через аномальную восходящую периодическую дегазацию. Аналогичные результаты получены по морским западинам. Например, в Средиземном море вблизи затопленной части дельты р. Нил обнаружено скопление западин (до 18 тыс. штук) в ограниченной по площади равнинной территории и редкое их нахождение либо отсутствие на смежных равнинных территориях [Moss, 2010].

Таким образом, равнинность территории для развития ореолов западин является условием необходимым, но недостаточным. Их возникновение следует увязывать прежде всего с глубинными структурами и процессами.

Возникает вопрос: а могут ли быть безкорневые (безканальные) западины? Безусловно, могут. Но выяснить это смогут только те, кто для этого изучает газы, применяет соответствующие методы геофизики, специальные методы исследования эпигенетических изменений пород, особенности группировки западин и др.

Выводы

Выполненные многочисленные исследования в морских акваториях и на суше позволяют выделить весьма распространенный тип западин, характеризующихся общностью закономерностей их развития. При этом подразумеваются те западины, которые имеют подзападинные каналы.

Формирование структур западина / подзападинный канал можно представить как сложный комплексный процесс, развивающийся под влиянием различных факторов (сил) в следующей основной последовательности.

1. Формирование глобальной трещиноватости земной коры под влиянием вибрационно-волновых напряжений различного генезиса (неравномерное вращение Земли на орбите, сейсмические, штормовые, блочные поступательно-вращательные и другие движения).

2. Формирование линейной дегазации Земли из недр.

3. Возникновение и наращивание нелигитифицированного (слаболитифицированного) чехла с постепенным возрастанием его мощности в отдельных структурах, увеличивающей сопротивление линейной трещинной дегазации.

4. Под влиянием активизации пульсирующей дегазации образование энергетически более эффективных локальных (округлых, эллипсовидных, кольцевых и т.п.) прорывных каналов дегазации с выходом в пористо-проницаемые пласты либо с прорывом на поверхность.

5. В ряде случаев обогащения осадочных пород биогенной органикой биогенные газы могут формировать локальные системы «западина – канал» с менее глубокими корнями либо вовлекаются в формирование глубинных систем.

6. Выход газопроводящего канала на поверхность с выносом жидкого и сыпучего материала, с переработкой минерального состава вмещающих пород сопровождается существенным увеличением проницаемости пород в канале вплоть до образования карстовых пустот и трещин и последующим оседанием осадочного чехла в виде западин, блюдец, воронок и т.п.

7. Наличие водорода в восходящем флюиде предопределяет дополнительное возникновение воды в результате его взаимодействия с кислородсодержащими минералами вмещающих пород (образование рассредоточенных внутренних источников питания подземных вод).

8. После этапа формирования систем «западины – каналы» в результате активизации дегазации (одно- или многоимпульсного) наступает период относительного затухания (частичного или полного) дегазации и превалирования процессов перераспределения вещества в результате фильтрации влаги с поверхности, электрических воздействий в системе «атмосфера – геологическая среда», вибрационно-волновых процессов переноса и мобилизации энергии. На значительных глубинах существование таких вертикальных систем способствует локальному взаимодействию этажно залегающих гидродинамических и гидрогеохимических зон. В морской среде наиболее важны гидромеханические и геохимические воздействия в системе «морская вода – подземная вода – вмещающие породы» и, по-видимому, вибрационно-волновые процессы.

9. При полном затухании дегазации западины перекрываются более молодым осадочным материалом, который может впоследствии прорываться на новом этапе дегазации. На суше отмечаются процессы затягивания западин сносимым материалом.

10. Становится все более ясным, что широко встречающиеся на равнинных территориях системы «западина – подзападинный канал» – это сложные, длительно существующие микроструктуры, имеющие в большинстве случаев глубинное заложение и достаточно длительную (тысячи – миллионы лет) историю формирования на основе пульсирующих процессов взаимодействия глубинного вещества и энергии с приповерхностными системами.

11. Учитывая весьма широкое распространение этих систем на освоенных человеком территориях, риски, связанные с их активными фазами формирования и развития, вызывают необходимость тщательного и всестороннего изучения этих весьма специфических образований.

12. Поэтому на фоне возможного генетического разнообразия западин перво-степенной задачей является выявление и изучение распространенности и степени активности западин с глубинными корнями. Но выполнить эту важнейшую задачу можно лишь на основе комплекса современных методов изучения, включающих

сейсмические исследования, газовую съемку, специальное изучение эпигенетических изменений пород западин, выявление территориальных группировок западин, особенностей их конфигурации, обусловленной глубинными геодинамическими процессами и флюидной восходящей миграцией и др.

Список литературы / References

1. Анохин В.М. Характеристика глобальной сети планетарной трещиноватости / В.М. Анохин, И.А. Одесский // Геотектоника. – 2001. – № 5. – С. 3–9.

Anokhin V.M., Odesskiy I.A., 2001. Characterization of global network for planetary fracturing. Geotektonika, № 5, p. 3-9 (in Russian).

2. Богацкий В.В. Механизм образования структуры рудных полей / В.В. Богацкий. – М.: Недра, 1986. – 86 с.

Bogatskiy V.V., 1986. Mechanism of formation of the ore field structures. Moscow: Nedra, 86 p. (in Russian).

3. Богоявленский В.Ц. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра. Ч. 1. Ч. 2 / В.Ц. Богоявленский // Бурение и нефть. – 2014. – № 9. – С. 13–18; № 10. – С. 4–8.

Bogoyavlenskiy V.Ts., 2014. Threat of catastrophic gas blowouts from the Arctic permafrost zone. Cones at Yamal and Taimyr. Part 1. Part 2. Burenie i neft', № 9, p. 13-18; № 10, p. 4-8 (in Russian).

4. Вартамян Г.С. ГГД мониторинг как ключевая технология системы краткосрочного оперативного прогноза сильных землетрясений / Г.С. Вартамян // Материалы конф. «Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза», 13–15 мая 1998 г. – М., 1998. – С. 10–13.

Vartanyan G.S., 1998. HGD monitoring as a key technology for short-term operative forecast of strong earthquakes. Proc. of Conference "Experience of complex studying the geophysical fields for seismographic forecasting", May 13-15, 1998. Moscow, p. 10-13 (in Russian).

5. Епиколопян Н.С. Сверхбыстрые химические реакции в твердых телах / Н.С. Епиколопян // Журн. физ. химии. – 1998. – № 9. – С. 2289–2298.

Epikolopyan N.S., 1989. Super-fast chemical reactions in solid bodies. Zhurnal Fizicheskoy Himii, vol. 63, № 9, p. 2289-2298 (in Russian).

6. Ильченко В.Л. О вариантах плотности и анизотропии упругих свойств архейских пород в приповерхностном залегании (на примере Цен-

трально-Кольского мегаблока, Балтийский щит) / В.Л. Ильченко // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2000. – № 1. – С. 73–75.

Ilchenko V.L., 2000. On the variations of density and anisotropy of the elastic properties for the Archaean rocks in case of near-surface occurrence (on example of the Central Kola megablock, the Baltic Shield). Geoecologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya, № 1, p. 73-75 (in Russian).

7. Ларин В.Н. Водородная дегазация на Русской платформе, ее плюсы и минусы / В.Н. Ларин, Н.В. Ларин – 2008. – [Электронный ресурс]. <http://hydrogen-future.com/page-id-18.html>.

Larin V.N., Larin N.V., 2008. Hydrogen degassing in the Russian platform, its pros and cons. Available at: <http://hydrogen-future.com/page-id-18.html>.

8. Ларин В.Н. Кольцевые структуры, обусловленные глубинными потоками водорода // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь / В.Н. Ларин, Н.В. Ларин, А.В. Горбатиков // Материалы Всерос. конф. с международ. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, 18–22 окт. 2010 г. – М.: ГЕОС, 2010. – 712 с.

Larin V.N., Larin N.V., Gorbaticov A.V., 2010. Ring structures caused by the deep f hydrogen fluxes. In: Earth's degassing: geotectonics, geodynamics, geofluids; oil and gas; hydrocarbons and the life: Proc. of All-Russian and International Conference, devoted to the 100-anniversary of Acad. P.N. Kropotkin birth. October 18-22, 2010. Moscow: GEOS, 712 p. (in Russian).

9. Мартынова Г.И. Природа и закономерности размещения планетарной трещиноватости земной коры / Г.И. Мартынова // Геологическое строение СССР. Т. 5. – М.: Недра, 1969. – С. 178–188.

Martynova G.I., 1969. Nature and regularities of planetary fractures distribution in the Earth crust. In: Geologicheskie strukturi SSSR. Moscow: Nedra, vol. 5, p. 178-188 (in Russian).

10. *Наумов Г.Б.* Энергетика процессов рудообразования / Г.Б. Наумов // Гос. геол. музей им. В.И. Вернадского. Москва: РАН, 2007. – [Электронный ресурс]. <http://dspace.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/5311/03-Naumov.pdf?sequence=1>; http://geo.web.ru/conf/SGS_2007/pdf/naumov.pdf.

Naumov G.B., 2007. Ore formation energy. Vernadsky State Geol. Museum of RAS, Moscow. Available at: <http://dspace.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/5311/03-Naumov.pdf?sequence=1>; http://geo.web.ru/conf/SGS_2007/pdf/naumov.pdf.

11. *Нестеренко В.Ф.* Механизмы перераспределения и концентрации элементов при импульсном нагружении / В.Ф. Нестеренко, Б.М. Чиков // Сдвиговый метаморфизм и рудоконтролирующие парагенезы. – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1992. – С. 36–37.

Nesterenko V.F., Chikov B.M., 1992. Mechanisms of redistribution and concentration of elements under impulse loading // In shear metamorphism and ore-controlling parageneses. Novosibirsk: Izdatelstvo OIGGM SO RAN, p. 36-37 (in Russian).

12. *Портнов А.М.* Опасные дыры Земли / А.М. Портнов // Природа. – 2014. – № 11. – С. 94–96.

Portnov A.M., 2014. Dangerous holes in Earth. *Priroda*, № 11, p. 94-96 (in Russian).

13. *Ротационные процессы в геологии и физике* / отв. ред. Е.Е. Милановский. – М.: Ком-книга, 2007. – 528 с.

Rotation processes in geology and physics, 2007. (Ed. E.E. Milanovsky). Moscow: Komkniga, 528 p. (in Russian).

14. *Рудаков В.П.* О роли геодвижений волновой структуры в активизации геодинамических процессов в асейсмических регионах (на примере геодинамических явлений Русской платформы) / В.П. Рудаков // Докл. РАН. – 1993. – Т. 332, № 4. – С. 509–511.

Rudakov V.P., 1993. About a role of geomovements of wave structure in activation of geodynamic processes in aseismic regions (on an example of the geodynamic phenomena of Russian platform). *Doklady RAN*, vol. 332, № 4, p. 509-511 (in Russian).

15. *Селюков Е.И.* Краткие очерки практической микрогеодинамики / Е.И. Селюков, Л.Т. Стигнеева. – СПб.: Изд. дом «Питер», 2010. – 176 с.

Selyukov E.I., Stigneyeva L.T., 2010. Brief essays of practical micro-geodynamics. St. Petersburg: Izdatelskiy dom «Piter», 176 p. (in Russian).

16. *Собственные колебания Земли* / ред. В.Н. Жарков. – М.: Мир, 1964. – 315 с.

Natural oscillations of the Earth, 1964. (Ed. V.N. Zharkov). Moscow: Mir, 315 p. (in Russian).

17. *Тяпкин К.Ф.* Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее геолого-математическое обоснование / К.Ф. Тяпкин, М.М. Довбнич. – Донецк: Ноулидж, 2009. – 342 с.

Tyapkin K.F., Dovbnich M.M., 2009. New rotational hypothesis of structure formation and its geological-mathematical substantiation. Donetsk, Noulidzh, 342 p. (in Russian).

18. *Учитель И.Л.* Основы неогеодинамики. Сети газопроводов как элемент деформационного мониторинга / И.Л. Учитель, В.Н. Ярошенко, И.И. Гладких, Б.Б. Капочкин. – Одесса: Астропринт, 2000. – 144 с.

Uchitel I.L., Yaroshenko V.N., Gladkih I.I., Kapochkin B.B., 2000. Fundamentals of neo-geodynamics. Gas pipeline network as deformation monitoring element. Odessa: Astroprint, 144 p. (in Russian).

19. *Чиков Б.М.* Короткопериодические колебания в геологических процессах литосферы / Б.М. Чиков // Литосфера. – 2005. – № 2. – С. 3-20.

Chikov B.M., 2005. Short-period fluctuations in geological processes of the lithosphere. *Litosfera*, № 2, p. 3-20 (in Russian).

20. *Шаблинская Н.В.* Новые данные о глобальной сетке разломов на платформах / Н.В. Шаблинская // Докл. АН СССР. Сер. геол. – 1977. – Т. 237, № 5. – С. 1159–1169.

Shablinskaya N.B., 1977. New data on the global network of fractures on the platforms. *Doklady AN SSSR. Ser. Geol.*, vol. 237, № 5, p. 1159-1169 (in Russian).

21. *Шестопалов В.М.* Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / В.М. Шестопалов, А.С. Богуславский, В.Н. Бублясь. – Киев: НИЦ РПИ НАН Украины, 2007. – 118 с.

Shestopalov V.M., Bohuslavsky A.S., Bubliasy V.N., 2007. Groundwater protectability and vulnerability assessment with account of fast migration zones. Kiev: Radioenvironmental Center of NAS of Ukraine, 118 p. (in Russian).

22. *Шестопалов В.М.* О некоторых результатах исследований, развивающих идею В.И. Вернадского о «газовом дыхании» Земли. Ст. 1. Поверхностные и приповерхностные проявления аномалий дегазации / В.М. Шестопалов, А.Н. Макаренко // Геол. журн. – 2013. – № 3 (344). – С. 7-25.

Shestopalov V.M., Makarenko A.N., 2013. On same research results developing the idea of V.I. Vernadsky about the Earth's "gas brearthing". Paper 1. Surface and near-surface manifestations of anomaleus degassing. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (344), p. 7-25 (in Russian).

23. Шульц С.С. Планетарная трещиноватость / С.С. Шульц // Планетарная трещиноватость. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. – С. 5-37
- Schultz S.S., 1973. Planetary fracturing. In: *Planetary fracturing*. – Leningrad: Izdatelstvo LGU, p. 5-37 (in Russian).
24. Bostrom R.C. Tectonic consequences of the Earth rotation / R.C. Bostrom. – Oxford University Press., 2000. – 266 p.
- Bostrom R.C., 2000. Tectonic consequences of the Earth rotation. Oxford University Press., 266 p. (in English).
25. Cathles L.M. The physics of gas chimney and pockmark formation, with implication for assessment of seafloor hazards end gas sequestration / L.M. Cathles, Sub Zheng, Chen Duofu // *Marine and petroleum Geology*. – 2010. – Vol. 27, iss.1. – P. 82-91.
- Cathles L.M., Sub Zheng, Chen Duofu, 2010. The physics of gas chimney and pockmark formation, with implication for assessment of seafloor hazards end gas sequestration. *Marine and petroleum Geology*, vol. 27, iss. 1, p. 82-91 (in English).
26. Hanken, N. Dannels en av „Slow-aut pipes“ basert pa studier av Plio-Pleistocene sedimenter pa Rhoclos (Abstract in Norwegian), Norwegian Geological Union, Vintermte / Hanken, N., Renholt, G., and Hovland, M. // *Conference Proceedings: Stavanger, Norway, Jan. 6-8, 1999*. – P. 52.
- Hanken, N., Renholt, G., and Hovland, M., 1999. Dannels en av „Slow-aut pipes“ basert pa studier av Plio-Pleistocene sedimenter pa Rhoclos (Abstract in Norwegian), Norwegian Geological Union, Vintermte. *Conference Proceedings: Stavanger, Norway, Jan. 6-8, p. 52* (in Norwegian).
27. Harrington, J.F. Gas transport properties of clays and mudrocks. In: Alpin, Fleet, A.I., and Macguaker, I.H.S. (eds.), *Muds and Mudstones: Physical and Fluid Flow Properties* / J.F. Harrington and S.T. Hersman // *Geological Society of London*. – 2010 – Spec. Publ. 158. – P.107-124.
- Harrington, J.F., and Hersman, S.T., 2010. Gas transport properties of clays and mudrocks. In: Alpin, Fleet, A.I., and Macguaker, I.H.S. (eds.), *Muds and Mudstones: Physical and Fluid Flow Properties. Geological Society of London, Spec. Publ. 158*, p. 107–124 (in English).
28. Hasiotis. A pockmark field in the Patras Gulf (Greece) and its activation during the 14.7.93 seismic event / Hasiotis, Papatheodorou, G., Kastanos, N., and Ferention, G. // *Marine Geology*. – 1996. – Vol. 130. – P. 333-344.
- Hasiotis, Papatheodorou, G., Kastanos, N., and Ferention, G., 1996. A pockmark field in the Patras Gulf (Greece) and its activation during the 14.7.93 seismic event. *Marine Geology*, vol. 130, p. 333-344 (in English).
29. Moody I.D. Wrench fault tectonics / I.D. Moody, M.I. Hill // *Geol. Soc. Amer.* – 1956. – Bull. 67. – P. 1207-1246.
- Moody I.D. and Hill M.I., 1956. Wrench fault tectonics. *Geol. Soc. Amer.*, bull. 67, p. 1207-1246 (in English).
30. Moss I.L. The spatial and Temporal distribution of pipe and pockmark formation PhD. Thesis / I.L. Moss. – Cardiff University, December 2010. – 314 p.
- Moss I.L., 2010. The spatial and Temporal distribution of pipe and pockmark formation PhD. Thesis. *Cardiff University*, December, 314 p. (in English).
31. Tohno, I., 1983. Liquefaction damage to the ground during the 1983 / I. Tohno, and Y. Shamoto // *Nihonkai – Chubu (Japan Sea) earthquake in Aomori prefecture. Tohoku, Japan* // *Natural Disaster Science*, 8. – P. 85-116.
- Tohno, I., and Shamoto. Y., Liquefaction damage to the ground during the 1983. *Nihonkai – Chubu (Japan Sea) earthquake in Aomori prefecture. Tohoku, Japan. Natural Disaster Science*, 8, p. 85-116 (in English).
32. Plaza-Ferola Andreia. Repeted fluid expulsion through sub-seabed chimneys offshore Norway in response to glacial cycles / Plaza-Ferola Andreia, Bunz Stefan, Mienert Jurgen // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2011. – Vol. 305. – P. 297-308.
- Plaza-Ferola Andreia, Bunz Stefan, Mienert Jurgen, 2011. Repeted fluid expulsion through sub-seabed chimneys offshore Norway in response to glacial cycles. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 305, p. 297-308 (in English).
33. Woolsey, T.C. Modelling of diatrema emplacement by fluidization / T.S. Woolsey, M.E. McCallum, and S.A. Suumm // *Physics and Chemistry of the Earth*. – 1975. – № 9. – P. 29-42.
- Woolsey, T.S., McCallum, M.E., and Suumm, S.A., 1975. Modelling of diatrema emplacement by fluidization. *Physics and Chemistry of the Earth*, № 9, p. 29-42 (in English).

Статья поступила
02.02.2016

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА РАСЧЕТА ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЛЕГКИМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В ПРОЦЕССЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Статья 2. Теоретическая база расчета двухфлюидной системы
«легкие нефтепродукты – вода» в пористой среде

Н.С. Огняник¹, Н.К. Парамонова²

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Доктор геолого-минералогических наук, профессор.*

² *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.*

На основе параметрической модели R.J. Lenhard, M. Oostrom [Lenhard, Oostrom, 1998] для прогноза зависимости «проницаемость – насыщенность – капиллярный напор» для системы «легкие нефтепродукты – вода» в пористой среде со смешанной смачиваемостью разработана теоретическая база расчета всех возможных путей дренирования и впитывания, формирующихся при трансформации слоя с мобильными легкими нефтепродуктами в процессе колебания уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: двухфлюидная система «легкие нефтепродукты – вода», мобильный легкий нефтепродукт, содержание, капиллярный напор, проницаемость.

THEORETICAL FOUNDATION FOR CALCULATION OF FLUID SYSTEMS IN THE SUBSURFACE CONTAMINATED WITH LIGHT PETROLEUM PRODUCTS DURING GROUNDWATER FLUCTUATION

Paper 2. Theoretical foundation for calculation
“light petroleum products – water” two-phase systems in porous media

N.S. Ognianik¹, N.K. Paramonova²

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Doctor of geological sciences, professor.*

² *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Candidate of geological sciences, senior scientific researcher.*

On the base of the parametric models [Lenhard, Oostrom, 1998] for predicting “relative permeability – saturation – capillary pressure” relationship of “light petroleum products – water” system in porous media with mixed wettability theoretical foundation for calculation of all possible saturation pathes is developed. Drainage and imbibition pathes are formed in “light petroleum products – water” porous media systems at ground water fluctuation.

Key words: two-phase system “light petroleum products – water”, mobile light petroleum products, content, capillary head, permeability.

© Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, 2016

ТЕОРЕТИЧНА БАЗА РОЗРАХУНКУ ФЛЮЇДНИХ СИСТЕМ У ЗАБРУДНЕНОМУ ЛЕГКИМИ НАФТОПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ У ПРОЦЕСІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД

Стаття 2. Теоретична база розрахунку двофлюїдної системи
«легкі нафтопродукти – вода» у пористому середовищі

М.С. Огняник¹, Н.К. Парамонова²

¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Доктор геолого-мінералогічних наук, професор.

² Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник.

На основі параметричної моделі R.J. Lenhard and M. Oostrom [Lenhard, Oostrom, 1998] для прогнозу залежності «проникність – насиченість – капілярний напір» для системи «легкі нафтопродукти – вода» в пористому середовищі зі змішаною змочуваністю розроблено теоретичну базу розрахунку всіх можливих шляхів дренавання і убирання, що формуються під час трансформації шару з мобільними легкими нафтопродуктами у процесі коливання рівня ґрунтових вод.

Ключові слова: двофлюїдна система «легкі нафтопродукти – вода», мобільний легкий нафтопродукт, вміст, капілярний напір, проникність.

Введение

Двухфлюидная система «легкие нефтепродукты – вода» («o – w») формируется в насыщенной пористой среде с мобильными легкими нефтепродуктами (ЛНП). В процессе колебания уровня грунтовых вод (УГВ) происходит взаимное вытеснение несмешивающихся жидкостей (воды и ЛНП), что приводит к состоянию смешанной смоченности пористой среды.

До начала процесса загрязнения все поры смочены водой. Как только ЛНП вытесняют воду из пор, они становятся смоченными ЛНП. Вода остается смачивающей жидкостью в порах, из которых она не вытеснена ЛНП, и становится несмачивающей в порах, из которых она вытеснена. Поэтому пористую среду с разными характеристиками смачивания называют *средой со смешанной пористостью*.

Параметрические модели для прогнозирования зависимости «проницаемость – насыщенность – капиллярный напір» для систем со смешанной смоченностью разработаны R.J. Lenhard, M. Oostrom [Lenhard, Oostrom, 1998], в русскоязычном изложении они приведены в монографии [Огняник и др., 2006]. Эти модели служат основой для расчета всех формирующихся при колебании УГВ ветвей дренарования и впитывания

воды, которые показаны на рис. 1–3: основная ветвь дренарования (ОВД^{ow}, рис. 1–3), основная ветвь впитывания (ОВВ^{ow}, рис. 1–3), промежуточная ветвь впитывания (ПрВВ^{ow}, рис. 2, 3), первичная ветвь дренарования (ПВД^{ow}, рис. 2, 3), промежуточная ветвь дренарования (ПрВД^{ow}, рис. 2, 3), произвольная ветвь дренарования (ПзВД^{ow}, рис. 3), произвольная ветвь впитывания (ПзВВ^{ow}, рис. 3).

В модели используется концепция кажущейся насыщенности, которая характеризует объем непрерывной фазы жидкости, включающей объем защемленной (прерывистой) жидкости. Понятие кажущейся насыщенности используется для того, чтобы отметить расположение поверхности раздела непрерывных фаз. Кажущаяся водная насыщенность $\bar{\theta}_w$ определяется так:

$$\bar{\theta}_w = \frac{\theta_{wc} - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}} = \frac{\tilde{\theta}_{wc} - \tilde{\theta}_{wr}}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}}, \quad (B.1)$$

где θ_s – полное объемное содержание жидкости; θ_{wc} , $\tilde{\theta}_{wc} = \frac{\theta_{wc}}{\theta_s}$ – объемное содержание* и насыщенность непрерывной водной фазы; θ_{wr} , $\tilde{\theta}_{wr}$ – содержание и насыщенность остаточной воды; θ_{ot} , $\tilde{\theta}_{ot}$ – содержание и насыщенность защемленного ЛНП.

* В дальнейшем употребляется просто «содержание».

Кажущаяся насыщенность ЛНП составляет:

$$\bar{\theta}_o = \frac{\theta_{oc} + \theta_{wt} - \theta_{ot}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}} = \frac{\tilde{\theta}_{oc} + \tilde{\theta}_{wt} - \tilde{\theta}_{ot}}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}}, \quad (B.2)$$

где θ_{oc} , $\tilde{\theta}_{oc} = \frac{\theta_{oc}}{\theta_s}$ – соответственно содержание и насыщенность непрерывной фазы ЛНП.

Из формул (B.1) и (B.2) вытекают условия системы «о – w»:

$$\theta_o + \theta_w = \theta_s; \quad \tilde{\theta}_o + \tilde{\theta}_w = 1; \quad \bar{\theta}_o + \bar{\theta}_w = 1. \quad (B.3)$$

Кажущиеся насыщенности воды и ЛНП изменяются от 0 до 1. Кажущаяся насыщенность воды приближается к нулю по мере того, как θ_{wc} стремится к θ_{wr} . Кажущаяся насыщенность ЛНП приближается к нулю по мере того, как θ_{oc} стремится к θ_{ot} .

Ниже для каждой ветви приведены условия ее идентификации, расчет содержания воды (θ_w) и ЛНП (θ_o) по известному ряду капиллярных напоров (h_{ow}), расчет капиллярных напоров по известному содержанию θ_w или θ_o , а также расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o).

1. Основная ветвь дренирования (ОВД^{ow})
ОВД^{ow} начинается с $\theta_w = \theta_s$ и заканчивается при $\theta_w = \theta_{wr}$ (рис. 1).

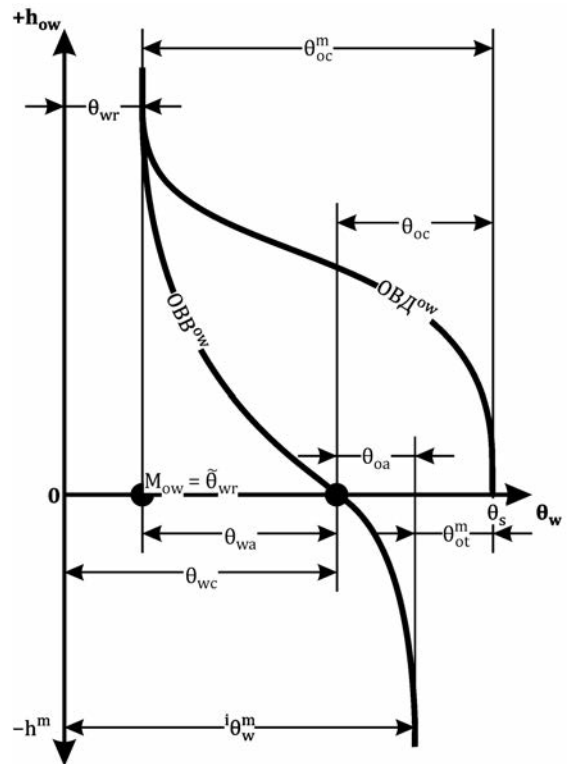


Рис. 1. Зависимости $\theta_w(h_{ow})$, указывающие на основную ветвь дренирования (ОВД^{ow}) и основную ветвь впитывания (ОВВ^{ow})

Fig. 1. $\theta_w(h_{ow})$ relationships main drainage (ОВД^{ow}) and main imbibition (ОВВ^{ow}) curves

Условия идентификации ОВД^{ow}

$$\theta_{w1} = \theta_s > \theta_{w2} \dots > \theta_{wk} = \theta_{wr} \quad \text{и} \quad (1.1)$$

$$\theta_{o1} = 0 < \theta_{o2} = \theta_s - \theta_{w2} < \dots < \theta_{ok} = \theta_s - \theta_{wk} = \theta_{oc}^m = \theta_s - \theta_{wr}, \quad \text{или} \quad (1.2)$$

$$\tilde{\theta}_{w1} = 1 > \tilde{\theta}_{w2} > \dots > \tilde{\theta}_{wk} = \tilde{\theta}_{wr} \quad \text{и} \quad (1.3)$$

$$\tilde{\theta}_{o1} = 0 < \tilde{\theta}_{o2} = 1 - \tilde{\theta}_{w2} < \dots < \tilde{\theta}_{ok} = 1 - \tilde{\theta}_{wk} = \tilde{\theta}_{oc}^m = 1 - \tilde{\theta}_{wr}, \quad \text{или} \quad (1.4)$$

$$h_{ow1} = 0 < h_{ow2} < \dots < h_{owk} \rightarrow +\infty \text{ при } \theta_{wr}. \quad (1.5)$$

Расчет ОВД^{ow}

I. Есть полные ряды θ_w и соответствующие им значения h_{ow}

$$\theta_{w1} = \theta_s > \theta_{w2} > \dots > \theta_{wk} = \theta_{wr}; \quad h_{ow1} = 0 < h_{ow2} < \dots < h_{owk} \rightarrow +\infty.$$

1. Аппроксимацией рядов $h_{ow} - \theta_w$ функцией VG с помощью программы RETC определяются параметры ${}^d\alpha_{ow}$ и ${}^d\varepsilon_{ow}$.

2. По функции VG

$$\bar{\theta}_w = \left[1 + \left({}^d\alpha_{ow} h_{ow} \right)^{{}^d\varepsilon_{ow}} \right]^{-d_{m_{ow}}} \quad (1.6)$$

при известных ${}^d\alpha_{ow}$ и ${}^d\varepsilon_{ow}$ рассчитывается по любому значению h_{ow} соответствующее ему значение θ_w :

$$\theta_w = \bar{\theta}_w (\theta_s - \theta_{wr}) + \theta_{wr}; \quad \theta_o = \theta_s - \theta_w. \quad (1.7)$$

3. По произвольным значениям θ_w находятся соответствующие значения h_{ow} по формуле:

$$h_{ow} = \frac{1}{d \alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_w} \right)^{\frac{1}{d m_{ow}}} - 1 \right]^{\frac{1}{d \varepsilon_{ow}}} \quad h_w = -h_{ow}, \quad h_o = 0, \quad (1.8)$$

где $\bar{\theta}_w = \frac{\theta_w - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr}}$.

II. Есть неполный ряд h_{ow} .

Необходимо установить его принадлежность к ОВД^{ow}. Для этого надо иметь лабораторные определения ${}^d\alpha_{ow}$ и ${}^d\varepsilon_{ow}$, а также хотя бы для одной точки измерения $h_{ow} - \theta_w$. Тогда по формулам (1.6)–(1.7) для этой точки рассчитывается по h_{ow} значение θ_w^c , которое сравнивается с фактическим. Если $\theta_w^c - \theta_w \leq \pm 0,02$, то ряд принадлежит к ОВД, и по уравнениям (1.6)–(1.7) можно рассчитывать значения θ_w и θ_o для других измерений.

III. Есть неполный ряд θ_w .

Надо иметь хотя бы для одной точки соответствующее значение h_{ow} и лабораторные определения ${}^d\alpha_{ow}$ и ${}^d\varepsilon_{ow}$. По формуле (1.8) рассчитывается h_{ow}^c , которое сравнивается с h_{ow} экспериментальным. Если $h_{ow}^c - h_{ow} \leq \pm 2$ см, то ряд θ_w принадлежит к ОВД^{ow}, и другие значения h_{ow} , отвечающие ряду θ_w , рассчитываются по формуле (1.8).

IV. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o):

$$k_w = k_{r,w} k_{s,w}; \quad (1.9)$$

$$k_o = k_{r,o} k_{s,o}, \quad (1.10)$$

где $k_{s,w}$ и $k_{s,o}$ – коэффициенты фильтрации воды и ЛНП.

$$k_{r,w} = \tilde{\theta}_{wa} \bar{\theta}_w^\chi, \quad (1.11)$$

а $\tilde{\theta}_{wa} = \frac{\theta_w - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr}}; \quad \chi = \frac{2 + \lambda}{\lambda},$

$$\lambda = \frac{{}^d m (1 - 0,5^{\frac{1}{d m}})}{1 - {}^d m}, \quad {}^d m = 1 - \frac{1}{{}^d \varepsilon_{ow}}; \quad (1.12)$$

$$k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa} [1 - \bar{\theta}_w^\chi], \quad \text{а } \tilde{\theta}_{oa} = 1 - \tilde{\theta}_w - \tilde{\theta}_{ot}^m. \quad (1.13)$$

Входные данные для расчета

Ряды дискретных значений h_{ow} и/или $\theta_w, \theta_s, \theta_{wr}, k_{s,w}, k_{s,o}$ (или v_w, v_o); тогда $k_{s,o} = \frac{k_{s,w} v_w}{v_o}$, где v_w и v_o – кинематическая вязкость воды и ЛНП.

Дополнительно для процедур II–III — ${}^d\alpha_{ow}, {}^d\varepsilon_{ow}, h_{ow}(\theta_w)$.

2. Основная ветвь впитывания (ОВВ^{ow})

ОВВ^{ow} начинается с $\theta_w = \theta_{wr}$ при $h_{ow} \rightarrow +\infty$ и заканчивается при $\theta_w = \theta_w^m$, если $h_{ow} \rightarrow -\infty$ (рис. 1).

Условия идентификации ОВВ^{ow}

$$\theta_{wr} = \theta_{w1} < \theta_{w2} < \dots < \theta_{wk} = \theta_w^m = \theta_s - \theta_{ot}^m, \quad \text{или} \quad (2.1)$$

$$\tilde{\theta}_{wr} = \frac{\theta_{wr}}{\theta_s} = \tilde{\theta}_{w1} < \tilde{\theta}_{w2} < \dots < \tilde{\theta}_{wk} = \frac{\theta_w^m}{\theta_s} = 1 - \tilde{\theta}_{ot}^m, \quad \text{или} \quad (2.2)$$

$$\theta_{oc}^m = \theta_s - \theta_{wr} > \theta_{o1} = \theta_s - \theta_{w1} > \theta_{o2} = \theta_s - \theta_{w2} > \dots > \theta_{ok} = \theta_{ot}^m = \theta_s - \theta_w^m, \quad \text{или} \quad (2.3)$$

$$\tilde{\theta}_{oc}^m = 1 - \tilde{\theta}_{wr} > \tilde{\theta}_{o1} > \tilde{\theta}_{o2} = 1 - \tilde{\theta}_{w2} > \dots > \tilde{\theta}_{ok} = \tilde{\theta}_{ot}^m = 1 - \tilde{\theta}_w^m, \quad \text{или} \quad (2.4)$$

$$+\infty > h_{ow1} > h_{ow2} > \dots > 0 > h_{owk} = -h^m > -\infty \quad \text{при } \theta_{ot}^m. \quad (2.5)$$

Расчет ОВВ^{ow}

I. Определяется принадлежность рядов θ_w и h_{ow} к ОВВ^{ow}.

1. Если есть полные ряды h_{ow} и θ_w по условиям определения ОВВ^{ow} (2.1)–(2.5), то с использованием программы RETC находятся параметры ${}^i\alpha_{ow}$ и ${}^i\varepsilon_{ow}$ и по изложенным ниже процедурам II и III рассчитываются θ_w и θ_o по произвольным известным h_{ow} , а значения h_{ow} определяются по известным θ_w или θ_o .

2. Если есть неполный ряд θ_w или h_{ow} , то необходимо иметь экспериментальные определения $i\alpha_{ow}$ и $i\varepsilon_{ow}$ и хотя бы для одной точки значения $h_{ow}(\theta_w)$. В этой точке по процедуре II рассчитываются θ_w^c по h_{ow} или h_{ow}^c по θ_w – по процедуре III, сравниваются θ_w^c и h_{ow}^c с экспериментальными θ_w и h_{ow} . Если выполняются условия $\theta_w^c - \theta_w \leq \pm 0,02$ или $h_{ow}^c - h_{ow} \leq \pm 2$ см, то точка находится на ОВВ^{ow}. Если эти условия не выполняются, то ряд анализируется на принадлежность к ПрВВ^{ow} или ПзВВ^{ow}.

II. Расчет θ_w и θ_o по h_{ow}

$$\bar{\theta}_w = \left[1 + \left\{ i\alpha_{ow} (h_{ow} - h^m) \right\}^{i\varepsilon_{ow}} \right]^{-i m_{ow}} ; \quad (2.6)$$

$$\tilde{\theta}_w = \bar{\theta}_w (1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m) + \tilde{\theta}_{wr} ; \quad (2.7)$$

$$\theta_w = \tilde{\theta}_w \theta_s ; \quad (2.8)$$

$$\theta_o = \theta_s - \theta_w . \quad (2.9)$$

III. Расчет h_{ow} по θ_w

Если задан ряд θ_o , то он переводится в ряд $\theta_w = \theta_s - \theta_o$.

$$\bar{\theta}_w = \frac{\theta_w - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}^m} ; \quad (2.10)$$

$$h_{ow} = \frac{1}{i\alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_w} \right)^{\frac{1}{i m_{ow}}} - 1 \right]^{i\varepsilon_{ow}} + h^m ; \quad (2.11)$$

$$h_w = -h_{ow} ; h_o = 0 . \quad (2.12)$$

IV. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o)

$$1. \tilde{\theta}_{wa} = \tilde{\theta}_w - \tilde{\theta}_{wr} ; \tilde{\theta}_{oa} = \tilde{\theta}_o - \tilde{\theta}_{ot}^m . \quad (2.13)$$

2. k_w и k_o рассчитываются по формулам (1.9)–(1.13).

3. Промежуточная ветвь впитывания (ПрВВ^{ow})

ПрВВ^{ow} (рис. 2) начинается с произвольной поворотной точки $\Delta h_{ow,di} \Delta \theta_{w,di}$ на ОВД^{ow}.

Условия идентификации ПрВВ^{ow}

$$\theta_{wr} < \Delta \theta_{w,di} < \theta_{w_2} < \dots < \theta_{w_k} \leq i\theta_w^{np} > i\theta_w^m , \text{ или} \quad (3.1)$$

$$\theta_{oc}^m = (\theta_s - \theta_{wr}) > \Delta \theta_{o,di} = \theta_s - \Delta \theta_{w,di} > \theta_{o_2} = \theta_s - \theta_{w_2} > \dots > \theta_{o_k} = (\theta_s - \theta_{w_k}) \geq \theta_{ot}^{np} < \theta_{ot}^m , \text{ или} \quad (3.2)$$

$$+\infty > \Delta h_{ow,di} > h_{ow_2} > \dots > 0 > h_{ow_k} > h_{ow}^{np} > h^m ; \quad (3.3)$$

Входные данные для расчета

Ряды дискретных значений h_{ow} и/или $\theta_w, \theta_s, \theta_{wr}, \theta_{ot}^m, h^m, k_{s,w}, k_{s,o}$ (или v_w, v_o).

Дополнительно для неполных рядов – $i\alpha_{ow}, i\varepsilon_{ow}, h_{ow}(\theta_w)$.

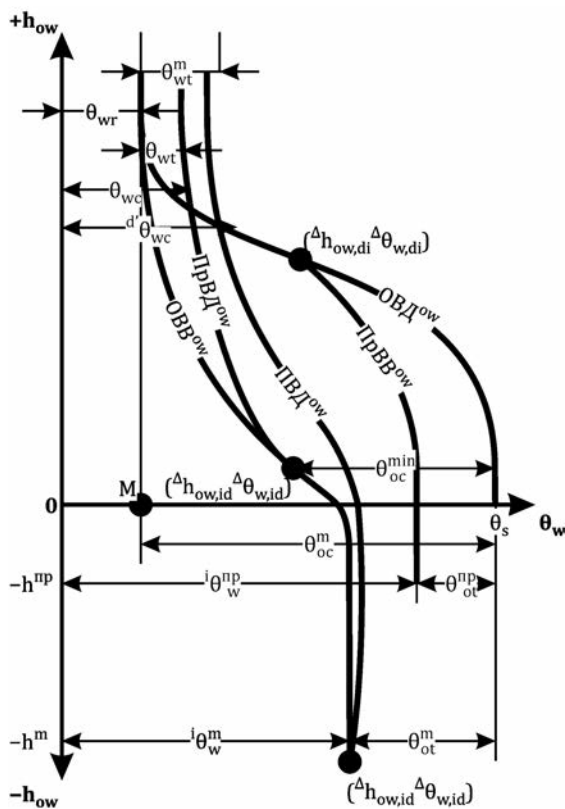


Рис. 2. Зависимости $\theta_w(h_{ow})$, указывающие на основную ветвь дренирования (ОВД^{ow}), основную ветвь впитывания (ОВВ^{ow}), первичную ветвь дренирования (ПВД^{ow}), промежуточную ветвь впитывания (ПрВВ^{ow}) и промежуточную ветвь дренирования (ПрВД^{ow})

Fig. 2. $\theta_w(h_{ow})$ relationships main drainage (ОВД^{ow}), main imbibition (ОВВ^{ow}), primary drainage (ПВД^{ow}), intermediate imbibition (ПрВВ^{ow}) and intermediate drainage (ПрВД^{ow}) curves

поворотная точка ${}^{\Delta}h_{ow,di}$ ${}^{\Delta}\theta_{w,di}$ принадлежит к ОВД^{ow}, если

$$\theta_w^c({}^{\Delta}h_{ow}) = \left[1 + \left({}^d\alpha_{ow} {}^{\Delta}h_{ow,di} \right)^{d\varepsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}} (\theta_s - \theta_{wr}) + \theta_{wr};$$

$$\theta_w^c({}^{\Delta}h_{ow,di}) - {}^{\Delta}\theta_{w,di} \leq \pm 0,02. \quad (3.4)$$

Расчет ПрВВ^{ow}

I. Расчет θ_w и θ_o по h_{ow}

$$1. \quad \bar{\theta}_w = \left[1 + \left\{ i\alpha_{ow} \left[h_{ow} - (h^{np}) \right] \right\}^{i\varepsilon_{ow}} \right]^{-i m_{ow}}, \quad (3.5)$$

где
$$h^{np} = \frac{h^m \theta_{ot}}{\theta_{ot}^m}; \quad \theta_{ot} = \tilde{\theta}_{ot} \theta_s; \quad \tilde{\theta}_{ot} = \tilde{\theta}_{ot}^m \left(1 - \bar{M}_{ow} \right)^2; \quad (3.6)$$

$$\bar{M}_{ow} = \frac{M_{ow} - \tilde{\theta}_{wr}}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{or}^m}; \quad M_{ow} = {}^{\Delta}\tilde{\theta}_{w,di}; \quad {}^{\Delta}\tilde{\theta}_{w,di} = \frac{{}^{\Delta}\theta_{w,di}}{\theta_s}. \quad (3.7)$$

$$2. \quad \theta_w = \bar{\theta}_w (\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}) + \theta_{wr}. \quad (3.8)$$

$$3. \quad \theta_o = \theta_s - \theta_w. \quad (3.9)$$

II. Расчет h_o по θ_w

Если измерены θ_o , то находится $\theta_w = \theta_s - \theta_o$, по которому выполняется расчет.

$$1. \quad \bar{\theta}_w = \frac{\theta_w - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}}, \quad (3.10)$$

где θ_{ot} определяется по формулам (3.6)–(3.7).

$$2. \quad h_{ow} = \frac{1}{i\alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_w} \right)^{\frac{1}{i m_{ow}}} - 1 \right]^{i\varepsilon_{ow}} + h^{np}; \quad h_w = -h_{ow}; \quad h_o = 0, \quad (3.11)$$

где h^{np} находится из уравнения (3.6).

III. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o)

$$1. \quad \tilde{\theta}_{wa} = \tilde{\theta}_w - \tilde{\theta}_{wr}. \quad (3.12)$$

$$2. \quad \Omega = 1 - \bar{\theta}_w + \bar{M}_{ow}, \quad (3.13)$$

где \bar{M}_{ow} определяется по формуле (3.7).

$$3. \quad k_{r,w} = \tilde{\theta}_{wa}^2 \left[1 + M_{ow}^{\lambda} - \Omega^{\lambda} \right], \quad (3.14)$$

где
$$\chi = \frac{2 + \lambda}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{(1 - 0,5)^{\frac{1}{i m_{ow}}}}{1 - i m_{ow}}; \quad i m_{ow} = 1 - \frac{1}{i\varepsilon_{ow}}. \quad (3.15)$$

$$4. \quad k_w = k_{r,w} k_{s,w}. \quad (3.16)$$

$$5. \quad \tilde{\theta}_o = 1 - \tilde{\theta}_w. \quad (3.17)$$

$$6. \quad \tilde{\theta}_{oa} = \tilde{\theta}_o - \tilde{\theta}_{ot}, \quad (3.18)$$

где $\tilde{\theta}_{or}$ находится из уравнения (3.6).

$$7. \quad k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa}^2 \left[\Omega^z - \overline{M}_{ow}^z \right]. \quad (3.19)$$

$$8. \quad k_o = k_{r,o} k_{s,o}, \quad (3.20)$$

где $k_{s,o} = \frac{k_{s,w} v_w}{v_o}$.

Входные данные для расчета

Ряды дискретных значений

$$h_{ow} \text{ и/или } \theta_w \text{ или } \theta_o, \theta_s, \theta_{wr}, \theta_{ot}^m, h^m, k_{s,w}, k_{s,o} \text{ (или } v_w, v_o), \\ (\Delta h_{ow,di}, \Delta \theta_{w,di}); {}^d\alpha_{ow}, {}^d\varepsilon_{ow}, {}^i\alpha_{ow}, {}^i\varepsilon_{ow}.$$

4. Первичная ветвь дренирования (ПВД^{ow})

ПВД^{ow} (рис. 2) начинается с $\theta_w = {}^i\theta_w^m$ ОВВ^{ow} при $h_{ow} = -h^m$.

Условия идентификации ПВД^{ow}

$$\theta_{w1} = {}^i\theta_w^m > \theta_{w2} > \dots > \theta_{wk} = \theta_{wr} + \theta_{wt}^m; \quad (4.1)$$

$$\theta_{o1} = \theta_{ot}^m = \theta_s - {}^i\theta_w^m < \theta_{o2} = (\theta_s - \theta_{w2}) < \dots < \theta_{ok} < \theta_{oc}^m = \theta_s - \theta_{wr}; \quad (4.2)$$

$$h_{ow1} = h^m < h_{ow2} \dots < 0 \dots < h_{owk} \rightarrow +\infty; \quad (4.3)$$

условие полных рядов $(\theta_w - h_{ow})$: $\frac{h_{ow2} - h_{ow1}}{\theta_{w1} - \theta_{w2}} > 450$ и $\frac{h_{owk} - h_{owk-1}}{\theta_{wk-1} - \theta_{wk}} > 450$, где $450 \approx \text{tg } 89,8^\circ$. (4.4)

Если условия выполняются, то ряды полные и $\theta_{w1} \approx {}^i\theta_w^m$, а $\theta_{wk} \approx \overline{\theta}_{wr} = \theta_{wr} + \theta_{wt}^m$, а $h_{ow1} \approx h^m$. Расчет по программе RETC определяются ${}^d\alpha$ и ${}^d\varepsilon$ при условных значениях: ${}^i\theta_s = {}^i\theta_w^m$, ${}^i\theta_{wr} = \overline{\theta}_{wr} = \theta_{wr} + \theta_{wt}^m$, ${}^i h_{ow1} = 0$, а ${}^i h_{owi} = h_{owi} - (h^m)$.

Расчет ПВД^{ow}

I. Расчет θ_w и θ_o по h_{ow}

$$1. \quad \overline{\theta}_{wc} = \left[1 + \left\{ {}^d\alpha_{ow} (h_{ow} - (h^m)) \right\} {}^d\varepsilon_{ow} \right]^{-d'm_{ow}}. \quad (4.5)$$

$$2. \quad \tilde{\theta}_{wc} = \overline{\theta}_{wc} (1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{wt}^m - \theta_{ot}^m) + \tilde{\theta}_{wr} + \tilde{\theta}_{wt}^m. \quad (4.6)$$

$$3. \quad \tilde{\theta}_{wt} = \tilde{\theta}_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{wc} - \tilde{\theta}_{ot}^m). \quad (4.7)$$

$$4. \quad \tilde{\theta}_w = \tilde{\theta}_{wc} + \tilde{\theta}_{wt}. \quad (4.8)$$

$$5. \quad \theta_w = \tilde{\theta}_w \theta_s, \quad \theta_o = \theta_s - \theta_w. \quad (4.9)$$

II. Расчет h_{ow} по θ_w

$$1. \quad \tilde{\theta}_w = \frac{\theta_w}{\theta_s}. \quad (4.10)$$

$$2. \quad \left\{ \begin{array}{l} \tilde{\theta}_{wt} \text{ по формуле (4.6);} \\ \tilde{\theta}_{wc} = \tilde{\theta}_w - \tilde{\theta}_{wt}. \end{array} \right. \quad (4.11)$$

Решением системы уравнений (2), (3) находятся $\tilde{\theta}_{wt}$ и $\tilde{\theta}_{wc}$.

$$4. \quad \overline{\theta}_{wc} = \frac{\tilde{\theta}_{wc} - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{wt}^m}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{wt}^m - \tilde{\theta}_{ot}^m}. \quad (4.12)$$

$$5. \quad h_{ow} = \frac{1}{d' \alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_{wc}} \right)^{d' m_{ow}} - 1 \right]^{\frac{1}{d' \varepsilon_{ow}}} + h^m; \quad h_w = -h_{ow}; \quad h_o = 0. \quad (4.13)$$

III. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o)

$$1. \quad \Omega = 1 - \bar{\theta}_{wc} \quad (4.14)$$

($\bar{\theta}_{wc}$ находится по формуле (4.5) или (4.12)).

$$2. \quad \tilde{\theta}_{wa} = \tilde{\theta}_{wc} - \tilde{\theta}_{wr}. \quad (4.15)$$

$$3. \quad k_{r,w} = \tilde{\theta}_{wa}^2 [1 - \Omega^\chi]. \quad (4.16)$$

где χ определяется по зависимости (3.15).

$$4. \quad k_w = k_{r,w} k_{s,w}. \quad (4.17)$$

$$5. \quad \tilde{\theta}_o = \frac{\theta_s - \theta_w}{\theta_s}. \quad (4.18)$$

$$6. \quad \tilde{\theta}_{oa} = \tilde{\theta}_o - \tilde{\theta}_{ot}^m. \quad (4.19)$$

$$7. \quad \bar{\theta}_o = \frac{\tilde{\theta}_{oa}}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m}. \quad (4.20)$$

$$8. \quad k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa}^2 \left[\Omega^\chi - \tilde{\theta}_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m) (\bar{\theta}_o^\chi - \tilde{\theta}_{ot}^{m\chi}) \right]. \quad (4.21)$$

$$9. \quad k_o = k_{r,o} k_{s,o}. \quad (4.22)$$

IV. Расчет неполных рядов

Если условие (4.4) не выполняется, то ряды h_{ow} и θ_w неполные и для расчета надо иметь лабораторные определения $d' \alpha$, $d' \varepsilon$, h^m , θ_{wt}^m , θ_s , θ_{wr} , θ_{ot}^m .

1. Если $h_{ow1} = h^m \pm 2$ см, то ряд относится к ПВВ^{ow} и рассчитывается по процедуре I.

2. Если $h_{ow1} > h^m$, то он может быть как ПВД^{ow}, так и ПзВД^{ow}. Поэтому необходимо иметь хотя бы для одного h_{owe} соответствующее ему значение θ_{owe} . По процедуре I рассчитывается θ_w^c и сравнивается с экспериментальным θ_{we} . При $\theta_w^c - \theta_{we} = \pm 0,02$ ряд относится к ПВД^{ow}.

Если члены ряда h_{ow} только положительны, то ряд может относиться еще к ОВД^{ow}. Поэтому необходимо иметь дополнительно и лабораторные определения $d' \alpha_{ow}$ и $d' \varepsilon_{ow}$. По формуле (1.6) находится θ_w^c , которое сравнивается с θ_{we} . При $\theta_w^c - \theta_{we} = \pm 0,02$ ряд относится к ОВД^{ow}.

3. Если $\theta_{w1} = i \theta_w^m \pm 0,02$ или $\theta_{wk} = (\theta_{wr} + \theta_{wt}^m) \pm 0,02$, то ряд принадлежит к ПВД^{ow} и рассчитывается по процедурам I–II.

Если $\theta_{w1} < i \theta_w^m$ или $\theta_{wk} > \theta_{wr} + \theta_{wt}^m$, то для определения принадлежности ряда необходимо иметь хотя бы для одного θ_w соответствующее ему значение h_{ow} . Тогда по процедуре II рассчитывается h_{ow}^c (формулы (4.10)–(4.13)), которое сравнивается с h_{ow} . При $h_{ow}^c - h_{ow} \leq 2$ см ряд относится к ПВД^{ow}.

Входные данные для расчета

Ряды дискретных значений h_{ow} и/или θ_o или θ_o , θ_s , θ_{wr} , θ_{ot}^m , θ_{wt}^m , h^m , $k_{s,w}$, $k_{s,o}$ (или v_w , v_o).

Дополнительно для неполных рядов – $d' \alpha_{ow}$, $d' \varepsilon_{ow}$, $d' \alpha_{ow}$, $d' \varepsilon_{ow}$, $h_{ow}(\theta_w)$.

5. Промежуточная ветвь дренирования (ПрВД^{ow})

ПрВД^{ow} (рис. 2) начинается с любой поворотной точки ($\Delta h_{ow,id}$, $\Delta \theta_{w,id}$), расположенной на ОВВ^{ow}.

Условия идентификации ПрВД^{ow}

$$\theta_{w_1} = \Delta \theta_{w_{id}} > \theta_{w_2} > \dots > \theta_{w_k} < (\theta_{wr} + \theta_{wt}^m); \quad (5.1)$$

$$\Delta \theta_{\alpha_{id}} = \theta_s - \Delta \theta_{w_{id}} < \theta_{o_2} = (\theta_s - \theta_{w_2}) < \dots < \theta_{o_k} = (\theta_s - \theta_{w_k}) < \theta_{oc}^m = \theta_s - \theta_{wr}; \quad (5.2)$$

$$\Delta h_{ow_1} = \Delta h_{ow_{id}} < h_{ow_2} < \dots < h_{ow_k} < +\infty; \quad (5.3)$$

поворотная точка $\Delta h_{ow_{id}} \Delta \theta_{w_{id}}$ принадлежит к ОВВ^{ow}, если θ_w^c , рассчитанная по (2.6)–(2.9) и по $\Delta h_{ow_{id}}$, $i\alpha_{ow}$, $i\varepsilon_{ow}$, не будет отличаться от $\Delta \theta_{w_{id}}$ больше, чем на $\pm 0,02$.

Расчет ПрВД^{ow}

I. Расчет θ_w и θ_o по h_{ow}

$$1. \quad \bar{\theta}_{wc}^{d'} = \left[1 + \left\{ d' \alpha_{ow} (h_{ow} - h^m) \right\}^{d' \varepsilon_{ow}} \right]^{-d' m_{ow}}. \quad (5.4)$$

$$2. \quad d' \theta_{wc} = \bar{\theta}_{wc}^{d'} (i \theta_w^m - \theta_{wr} - \theta_{wt}^m) + \theta_{wr} + \theta_{wt}^m. \quad (5.5)$$

$$3. \quad \theta_{oc}^{min} = \theta_s - \Delta \theta_{w_{id}}, \quad (5.6)$$

где θ_{oc}^{min} – минимальное значение содержания ЛНП в сценарии насыщения.

$$4. \quad \begin{cases} \theta_{wc} = d' \theta_{wc} - (\theta_{wt}^m - \theta_{wt}); \\ \theta_{wt} = \theta_{wt}^m (\theta_s - \theta_{wc} - \theta_{oc}^{min}). \end{cases} \quad (5.7)$$

Решением системы (4) находятся θ_{wt} и θ_{wc} .

$$5. \quad \theta_w = \theta_{wc} + \theta_{wt}. \quad (5.8)$$

$$6. \quad \theta_o = \theta_s - \theta_w. \quad (5.9)$$

II. Расчет h_{ow} по θ_w

$$1. \quad \begin{cases} \theta_{wc} = \theta_w - \theta_{wt} \\ \theta_{wt} = \theta_{wt}^m (\theta_s - \theta_{wc} - \theta_{oc}^{min}). \end{cases} \quad (5.10)$$

Решением этой системы определяются θ_{wt} и θ_{wc} .

$$2. \quad d' \theta_{wc} = \theta_{wc} + (\theta_{wt}^m - \theta_{wt}). \quad (5.11)$$

$$3. \quad \bar{\theta}_{wc}^{d'} = \frac{d' \theta_{wc} - \theta_{wr} - \theta_{wt}^m}{i \theta_w^m - \theta_{wr} - \theta_{wt}^m}. \quad (5.12)$$

$$4. \quad h_{ow} = \frac{1}{d' \alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_{wc}^{d'}} \right)^{\frac{1}{d' m_{ow}}} - 1 \right]^{d' \varepsilon_{ow}} + h^m; \quad h_w = -h_{ow}; \quad h_o = 0. \quad (5.13)$$

III. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o)

$$1. \quad \tilde{\theta}_{wa} = \frac{\theta_{wc} - \theta_{wr}}{\theta_s}. \quad (5.14)$$

$$2. \quad \bar{\theta}_{wc} = \frac{\theta_{wc} - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}^m}. \quad (5.15)$$

$$3. \quad \Omega = 1 - \bar{\theta}_{wc}. \quad (5.16)$$

$$4. \quad k_{r,w} = \tilde{\theta}_{va}^2 (1 - \Omega^\chi). \quad (5.17)$$

где χ определяется по формуле (3.15).

$$5. \quad (k_w) = k_{r,w} k_{s,w}. \quad (5.18)$$

$$6. \quad \tilde{\theta}_{oa} = \frac{\theta_o + \theta_{wt} - \theta_{ot}^m}{\theta_s}. \quad (5.19)$$

$$7. \quad \bar{\theta}_o = \frac{\tilde{\theta}_{oa}}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m}. \quad (5.20)$$

$$8. \quad \bar{\theta}_{oc}^{\min} = \frac{\theta_{oc}^{\min} - \theta_{ot}^m}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}^m}. \quad (5.21)$$

$$9. \quad k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa}^2 \left\{ \left(\Omega^\chi - \theta_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m) \right) \left(\bar{\theta}_o - \bar{\theta}_{oc}^{\min} \right) \right\}. \quad (5.22)$$

$$10. \quad k_o = k_{r,o} k_{s,o}. \quad (5.23)$$

Входные данные для расчета

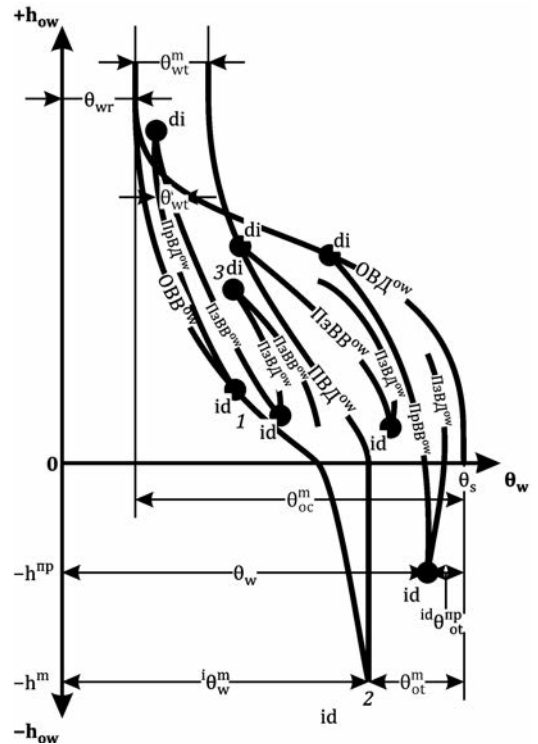
Ряды дискретных значений h_{ow} или θ_w или θ_o , θ_s , θ_{wr} , θ_{ot}^m , h^m , θ_{wt}^m , $k_{s,w}$, $k_{s,o}$ (или v_w , v_o), $d^i \alpha_{ow}$, $d^i \varepsilon_{ow}$, $i \alpha_{ow}$, $i \varepsilon_{ow}$, ($\Delta h_{ow,id}$, $\Delta \theta_{w,id}$).

6. Произвольная ветвь впитывания (ПзВВ^{ow})

ПзВВ^{ow} может начинаться с любой точки ПрВД^{ow}, ПВД^{ow} и ПзВД^{ow} (рис. 3).

Рис. 3. Зависимости $\theta_w(h_{ow})$, указывающие на основную ветвь дренирования (ОВД^{ow}), основную ветвь впитывания (ОВВ^{ow}), первичную ветвь дренирования (ПВД^{ow}), промежуточную ветвь впитывания (ПрВВ^{ow}), промежуточную ветвь дренирования (ПрВД^{ow}), произвольную ветвь впитывания (ПзВВ^{ow}) и произвольную ветвь дренирования (ПзВД^{ow})

Fig. 3. $\theta_w(h_{ow})$ relationships main drainage (ОВД^{ow}), main imbibition (ОВВ^{ow}), primary drainage (ПВД^{ow}), intermediate imbibition (ПрВВ^{ow}), intermediate drainage (ПрВД^{ow}), arbitrary imbibition (ПзВВ^{ow}) and arbitrary drainage (ПзВД^{ow}) curves



Условия идентификации ПзВВ^{ow}

$$\theta_{wr} < \Delta \theta_{w,di} = \theta_{w1} < \theta_{w2} < \dots < \theta_{wk} > \theta_w^{np} > i \theta_w^m, \quad (6.1)$$

$$\theta_{oc}^m = (\theta_s - \theta_{wr}) > \theta_{o1} = (\theta_s - \theta_{w1}) > \dots > \theta_{ok} < \theta_{ot}^m, \quad (6.2)$$

$$h_{ow,di} = h_{ow1} > h_{ow2} > \dots > h_{owk} > h^m; \quad (6.3)$$

поворотная точка Δh_{di} , $\Delta \theta_{w,di}$ принадлежит к:

а) ПрВД^{ow}, если поворотная точка (1) ($\Delta h_{ow,id}$, $\Delta \theta_{w,id}$) лежит на ОВВ^{ow} с выполнением условий:

$$\theta_w^c (\Delta h_{ow,id}) = (\theta_w^m - \theta_{wr}) \left[1 + \left\{ i \alpha_{ow} (\Delta h_{ow,id} - h^m) \right\} i \varepsilon_{ow} \right]^{-i m_{ow}} + \theta_{wr}; \quad \theta_w^c - \Delta \theta_{w,id} \leq \pm 0,02;$$

б) ПВД^{ow}, если поворотная точка (2) ($\Delta h_{id} \Delta \theta_{w,id}$) есть конечной ОВВ^{ow}, т. е. $\Delta h_{ow,id} = h^m$, а $\Delta \theta_{w,id} = \theta_{wt}^m$;

в) ПзВД^{ow} – (3), если условия а)–б) не выполняются.

Расчет ПзВВ^{ow}

I. Установление M_{ow} (индекс насыщенности жидким ЛНП, указывающий на наименьший размер пор, в которые ЛНП вытеснил воду) и θ_{ot} .

$$1. \text{ Если } \Delta \theta_{w,di} < \theta_{wc}^{\min}, \quad (6.4)$$

$$\text{то } M_{ow} = \Delta \tilde{\theta}_{w,di}^*, M_{ow}^* = \tilde{\theta}_{wc}^{\min}.$$

$$\text{Если } \Delta \theta_{w,di} > \theta_{wc}^{\min}, \text{ то } M_{ow} = M_{ow}^* = \tilde{\theta}_{wc}^{\min}. \quad (6.5)$$

$$2. \overline{M}_{ow} = \frac{M_{ow} - \tilde{\theta}_{wr}^m}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m}; \quad \overline{M}_{ow}^* = \frac{M_{ow}^* - \tilde{\theta}_{wr}^m}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}^m}. \quad (6.6)$$

III. Расчет θ_w и θ_o по h_{ow}

$$1. \quad \overline{\theta}_w^i(h_{ow}) = \frac{\left[\overline{\theta}_w^i(h_{ow}) - \overline{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id}) \right] \left[\Delta \overline{\theta}_{w,di} - \Delta \overline{\theta}_{w,id} \right]}{\overline{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,di}) - \overline{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id})} + \Delta \overline{\theta}_{w,id}^* \quad (6.12)$$

$$a) \quad \overline{\theta}_w^i(h_{ow}) = \left[1 + \left\{ \alpha_{ow}^i(h_{ow} - h^m)^{i_{\varepsilon_{ow}}} \right\} \right]^{-i_{m_{ow}}}; \quad (6.13)$$

$$б) \quad \overline{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id}) = \left[1 + \left\{ \alpha_{ow}^i(\Delta h_{ow,id} - h^m)^{i_{\varepsilon_{ow}}} \right\} \right]^{-i_{m_{ow}}}; \quad (6.14)$$

$$в) \quad \overline{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,di}) = \left[1 + \left\{ \alpha_{ow}^i(\Delta h_{ow,di} - h^m)^{i_{\varepsilon_{ow}}} \right\} \right]^{-i_{m_{ow}}}; \quad (6.15)$$

г) $\Delta \overline{\theta}_{w,di}$ и $\Delta \overline{\theta}_{w,id}$ берутся из расчета предыдущих веток дренирования и впитывания.

2. Составляется система уравнений:

$$\text{первое: } \theta_{wc}(h_{ow}) = \overline{\theta}_w^i(h_{ow}) [\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{wt} - \theta_{ot}] + \theta_{wr} + \theta_{wt}; \quad (6.16)$$

второе: θ_{wt} – выбирается из процедуры // (6.8)–(6.11);

третье: $\theta_{oc} = \theta_s - \theta_{wc}$.

Решением этой системы находятся значения θ_{wc} и θ_{wt} .

$$3. \quad \theta_w(h_{ow}) = \theta_{wc}(h_{ow}) + \theta_{wt}; \quad \theta_o(h_{ow}) = \theta_s - \theta_w(h_{ow}). \quad (6.17)$$

IV. Расчет h_{ow} по θ_w

Если есть ряд θ_o , то определяются $\theta_w = \theta_s - \theta_o$, $\tilde{\theta}_w = \frac{\theta_w}{\theta_s}$ и расчет проводится по θ_w .

$$3. \tilde{\theta}_{ot} = \tilde{\theta}_{ot}^m \left(1 - \overline{M}_{ow} \right)^2; \quad \theta_{ot} = \tilde{\theta}_{ot} \theta_s. \quad (6.7)$$

II. Установление θ_{wt} (захваченной воды) в процессе впитывания ЛНП.

Если $M_{ow} = M_{ow}^*$, то

$$\tilde{\theta}_{wt} = \tilde{\theta}_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{oc} - \tilde{\theta}_{oc}^{\min}). \quad (6.8)$$

Если $M_{ow} < M_{ow}^*$ и $1 - \tilde{\theta}_{wc} + M_{ow} \leq M_{ow}^* + \tilde{\theta}_{oc}^{\min}$, то

$$\tilde{\theta}_{wt} = 0 \quad (6.9)$$

и устанавливается $M_{ow} = M_{ow}^*$.

Если $1 - \tilde{\theta}_{wc} + M_{ow} > M_{ow}^* + \tilde{\theta}_{oc}^{\min}$, то

$$\tilde{\theta}_{wt} = \tilde{\theta}_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{wc} + M_{ow} - \tilde{\theta}_{oc}^{\min} - M_{ow}^*); \quad (6.10)$$

$$\theta_{wt} = \tilde{\theta}_{wt} \theta_s. \quad (6.11)$$

$$1. \quad \bar{\theta}_w^i(h_{ow}) = \frac{\left[\bar{\theta}_w^i(h_{ow}) - \bar{\theta}_{w,id}^{\Delta} \right] \left[\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,di}) - \bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id}) \right]}{\Delta \bar{\theta}_{w,di} - \Delta \bar{\theta}_{w,id}} + \bar{\theta}_w^i(\Delta h_{id}): \quad (6.18)$$

а) $\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{id})$, $\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{di})$, $\bar{\theta}_{w,id}^{\Delta}$, $\bar{\theta}_{w,di}^{\Delta}$ рассчитываются согласно процедуре III (б, в, г).

б) составляется система уравнений:

$$\text{первое:} \quad \bar{\theta}_w^i = \frac{\theta_{wc} - \theta_{wr} - \theta_{wt}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{wt} - \theta_{ot}}; \quad (6.19)$$

$$\text{второе:} \quad \theta_{wc} = \theta_w - \theta_{wt}; \quad (6.20)$$

третье: θ_{wt} – рассчитывается по процедуре II (6.8)–(6.11).

Решением этой системы находятся значения θ_{wt} , θ_{wc} , $\bar{\theta}_{wt}^i$; последнее подставляется в (6.18).

$$2. \quad h_{ow} = \frac{1}{\alpha_{ow}^i} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_w^i(h_{ow})} \right)^{i_{m_{ow}}} - 1 \right]^{i_{\varepsilon_{ow}}} + h^m; \quad h_w = -h_{ow}; \quad h_o = 0. \quad (6.21)$$

V. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o).

$$1. \quad \Omega = 1 - \bar{\theta}_w^i(h_{ow}) + \bar{M}_{ow}. \quad (6.22)$$

$$2. \quad \tilde{\theta}_{wa} = \frac{\theta_{wc} - \theta_{wr}}{\theta_s}. \quad (6.23)$$

$$3. \quad k_{r,w} = \tilde{\theta}_{wa}^2 \left[1 + \bar{M}_{ow}^\chi - \Omega^\chi \right], \quad (6.24)$$

где χ рассчитывается по (3.15).

$$4. \quad k_w = k_{r,w} k_{s,w}. \quad (6.25)$$

$$5. \quad \tilde{\theta}_{oc} = 1 - \tilde{\theta}_w^i(h_{ow}). \quad (6.26)$$

$$6. \quad \tilde{\theta}_{oa} = \tilde{\theta}_{oc} + \tilde{\theta}_{wt} - \tilde{\theta}_{ot}. \quad (6.27)$$

$$7. \quad \bar{\theta}_o = \frac{\tilde{\theta}_{oa}}{1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}}. \quad (6.28)$$

$$8. \quad \bar{\theta}_{oc}^{\min} = \frac{\theta_{oc}^{\min} - \theta_{ot}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}}. \quad (6.29)$$

9. Расчет $k_{r,o}$ по формулам (6.30)–(6.32):

Если $\theta_{wt} = 0$, то

$$k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa}^2 \left[\Omega^\chi - \bar{M}_{ow}^\chi \right]. \quad (6.30)$$

Если $\theta_{wt} > 0$ и $M_{ow} = M_{ow}^*$, то

$$k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa}^2 \left\{ \left(\Omega^\chi - \bar{M}_{ow}^\chi \right) - \tilde{\theta}_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}) \left(\left[\bar{\theta}_o + \bar{M}_{ow} \right]^\chi - \left[\bar{\theta}_{oc}^{\min} + \bar{M}_{ow} \right]^\chi \right) \right\} \quad (6.31)$$

и если $M_{ow} < M_{ow}^*$ то

$$k_{r,o} = \tilde{\theta}_{oa}^2 \left\{ \left(\Omega^\lambda - \overline{M}_{ow}^\lambda \right) - \tilde{\theta}_{wt}^m (1 - \tilde{\theta}_{wr} - \tilde{\theta}_{ot}) \left(\left[\overline{\theta}_o + \overline{M}_{ow} \right]^\lambda - \left[\overline{\theta}_{oc}^{\min} + \overline{M}_{ow}^* \right]^\lambda \right) \right\}. \quad (6.32)$$

$$10. \quad k_o = k_{r,o} k_{s,o}. \quad (6.33)$$

Входные данные для расчета

Ряды дискретных значений h_{ow} или θ_w или θ_o , θ_s , θ_{wr} , θ_{ot}^m , h^m , θ_{wt}^m , $k_{s,w}$, $k_{s,o}$ (или v_w , v_o), $i\alpha_{ow}$, $i\epsilon_{ow}$, $(\Delta h_{ow,id} \Delta \theta_{w,id})$, $(\Delta h_{ow,di} \Delta \theta_{w,di})$.

7. Произвольная ветвь дренирования (ПзВД^{ow})

ПзВД^{ow} может начинаться с любой точки ПрВВ^{ow} или ПзВВ^{ow} (рис. 3)

Условия идентификации ПзВД^{ow}

$$\Delta \theta_{w,id} = \theta_{w1} > \theta_{w2} > \dots > \theta_{wk}; \quad (7.1)$$

$$(\theta_s - \Delta \theta_{w,id}) = \theta_{o1} < \theta_{o2} = (\theta_s - \theta_{w2}) < \dots < \theta_{ok} = \theta_s - \theta_{wk}; \quad (7.2)$$

$$h^m < \Delta h_{ow,id} = h_{ow1} < h_{ow2} < \dots < h_{owk}; \quad (7.3)$$

поворотная точка $(\Delta h_{ow,id} \Delta \theta_{w,id})$ принадлежит к ПрВВ^{ow}, если поворотная точка $(\Delta h_{ow,di} \Delta \theta_{w,di})$ принадлежит к ОВД с выполнением условий:

$$\theta_w^c(\Delta h_{ow,di}) = \left[1 + \left({}^d\alpha_{ow} \Delta h_{ow,di} \right)^{d\epsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}} (\theta_s - \theta_{wr}) + \theta_{wr}; \quad \theta_w^c(\Delta h_{ow,di}) - \Delta \theta_{w,di} \leq \pm 0,02.$$

Если условие не выполняется, то ПзВД^{ow} выходит за пределы ПзВВ^{ow}.

Расчет ПзВД^{ow}

I. Устанавливаются M_{ow} , θ_{ot} и θ_{wt} по п. 6 (процедуры I, II), формулы (6.4)–(6.11).

II. Расчет значений θ_w и $\overline{\theta}_o$ по h_{ow}

$$1. \quad \overline{\theta}_w^d(h_{ow}) = \frac{\left[{}^d\overline{\theta}_w(h_{ow}) - {}^d\overline{\theta}_w(\Delta h_{ow,di}) \right] \left[\Delta \overline{\theta}_{w,id} - \Delta \overline{\theta}_{w,di} \right]}{{}^d\overline{\theta}_w(\Delta h_{ow,id}) - {}^d\overline{\theta}_w(\Delta h_{ow,di})} + \Delta \overline{\theta}_{w,di}; \quad (7.4)$$

$$a) \quad {}^d\overline{\theta}_w(h_{ow}) = \left[1 + \left\{ {}^d\alpha_{ow}(h_{ow} - h^m) \right\}^{d\epsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}}; \quad (7.5)$$

$$б) \quad {}^d\overline{\theta}_w(\Delta h_{ow,di}) = \left[1 + \left\{ {}^d\alpha_{ow}(\Delta h_{ow,di} - h^m) \right\}^{d\epsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}}; \quad (7.6)$$

$$в) \quad {}^d\overline{\theta}_w(\Delta h_{ow,id}) = \left[1 + \left\{ {}^d\alpha_{ow}(\Delta h_{ow,id} - h^m) \right\}^{d\epsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}}; \quad (7.7)$$

$$г) \quad \Delta \overline{\theta}_{w,id} = \frac{\Delta \theta_{w,id} - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{ot}} \quad (7.8)$$

или берется из расчета последней точки соответственно ПрВВ или ПзВВ;

д) $\Delta \overline{\theta}_{w,di}$ берется из расчета последней точки соответственно ОВД^{ow}, ПрВД^{ow}, ПВД^{ow}, ПзВД^{ow}.

2. Составляется система уравнений :

$$\text{первое: } \theta_{wc}(h_{ow}) = \bar{\theta}^d(h_{ow})[\theta_s - \theta_{wr} - \theta_{wt} - \theta_{or}] + \theta_{wr} + \theta_{wt}; \quad (7.9)$$

второе: θ_{wt} – выбирается из п. 6, процедура II, уравнения (6.6)–(6.11);

третье: $\theta_{oc} = \theta_s - \theta_{wc}$.

Решением этой системы находятся значения θ_{wc} и θ_{wt} .

$$3. \quad \theta_w(h_{ow}) = \theta_{wc}(h_{ow}) + \theta_{wt}; \quad \theta_o(h_{ow}) = \theta_s - \theta_w(h_{ow}). \quad (7.10)$$

III. Расчет h_{ow} по θ_w

Если есть ряд θ_o , то $\theta_w = \theta_s - \theta_o$, $\tilde{\theta}_w = \theta_w / \theta_s$.

$$1. \quad \bar{\theta}_w^d(h_{ow}) = \frac{\left[\bar{\theta}_w^d(h_{ow}) - \bar{\theta}_{w,di}^d \right] \left[\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id}) - \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di}) \right]}{\bar{\theta}_{w,id}^d - \bar{\theta}_{w,di}^d} + \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di}); \quad (7.11)$$

а) $\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id})$, $\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di})$, $\bar{\theta}_{w,id}^d$, $\bar{\theta}_{w,di}^d$ определяются аналогично процедуре II, п. 1, п. п. б)–д) (см. выше);

б) составляется система из трех уравнений, аналогичных представленным в п. 6 – процедура IV, решением которых определяются $\tilde{\theta}_{wt}$, $\tilde{\theta}_{wc}$ и $\bar{\theta}_w^d$ (вместо $\bar{\theta}_w^i$), которое подставляется в формулу (7.11).

$$2. \quad h_{ow} = \frac{1}{d\alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_w^d(h_{ow})} \right)^{\frac{1}{d m_{ow}}} - 1 \right]^{\frac{1}{d \varepsilon_{ow}}} + h^m; \quad h_w = -h_{ow}; \quad h_o = 0. \quad (7.12)$$

IV. Расчет проницаемости воды (k_w) и ЛНП (k_o)

1. Рассчитывается Ω по формуле (6.22), только вместо $\bar{\theta}_w^i(h_{ow})$ надо подставить $\bar{\theta}_w^d(h_{ow})$.
2. Рассчитывается $\tilde{\theta}_{wa}$ по формуле (6.23).
3. Рассчитывается $k_{r,w}$ по формуле (6.24).
4. Рассчитывается k_w по формуле (6.25).
5. Рассчитывается $\tilde{\theta}_{oc}$ по формуле (6.26).
6. Рассчитывается $\tilde{\theta}_{oa}$ по формуле (6.27).
7. Рассчитывается $\bar{\theta}_o$ по формуле (6.28).
8. Рассчитывается $\bar{\theta}_{oc}^{\min}$ по формуле (6.29).
9. Рассчитывается $k_{r,o}$ по формулам (6.30)–(6.33).
10. Рассчитывается k_o по формуле (6.33).

Входные данные для расчета

Ряды дискретных значений h_{ow} или θ_w или θ_o , θ_s , θ_{wr} , θ_{ot}^m , h^m , θ_{wt}^m , $k_{s,w}$, $k_{s,o}$ (или v_w , v_o), $d\alpha_{ow}$, $d\varepsilon_{ow}$, поворотные точки $(\Delta h_{ow,id}, \Delta \theta_{w,id})$, $(\Delta h_{ow,di}, \Delta \theta_{w,di})$.

8. Порядок расчета рядов измерений h_{ow} и θ_w

1. Измерения разбиваются на пути дренирования и впитывания по изменению в значениях h_{ow} и θ_w : h_{ow} увеличивается, θ_w уменьшается – путь дренирования; h_{ow} уменьшается, θ_w увеличивается – путь впитывания.

2. Устанавливается по условиям идентификации принадлежность первого пути насыщения к соответствующей ветви, по которой проводится расчет.

3. Расчет второй и других ветвей выполняется в последовательности:

$$\begin{array}{l} \text{ОВД}^{\text{ow}} \quad \begin{array}{l} / \text{ПрВВ}^{\text{ow}} - \text{ПзВД}^{\text{ow}} - \text{ПзВВ}^{\text{ow}} - \text{ПзВД}^{\text{ow}} \text{ и т. п.} \\ \backslash \text{ОВВ}^{\text{ow}} \quad \begin{array}{l} / \text{ПВД}^{\text{ow}} - \text{ПзВВ}^{\text{ow}} - \text{ПзВД}^{\text{ow}} - \text{ПзВВ}^{\text{ow}} \text{ и т. п.} \\ \backslash \text{ПрВД}^{\text{ow}} - \text{ПзВВ}^{\text{ow}} - \text{ПзВД}^{\text{ow}} - \text{ПзВВ}^{\text{ow}} \text{ и т. п.} \end{array} \end{array} \end{array}$$

Выводы

На основе параметрической модели R.J. Lenhard, and M. Oostrom [Lenhard, Oostrom, 1998] для прогноза зависимости «проницаемость – насыщенность – капиллярный напор» для системы «ЛНП – вода» в пористой среде со смешанной смоченностью разработана теоретическая база расчета всех возможных путей дренирования и впитывания, формирующихся при трансформации слоя с мобильным ЛНП в процессе колебания УГВ, а именно для: основной ветви дренирования (ОВД^{ow}, рис. 1–3), основной ветви впитывания

(ОВВ^{ow}, рис. 1–3), промежуточной ветви впитывания (ПрВВ^{ow}, рис. 2, 3), первичной ветви дренирования (ПВД^{ow}, рис. 2, 3), промежуточной ветви дренирования (ПрВД^{ow}, рис. 2, 3), произвольной ветви дренирования (ПзВД^{ow}, рис. 3), произвольной ветви впитывания (ПзВВ^{ow}, рис. 3).

Данные расчеты могут быть использованы для определения содержания и распределения ЛНП в ГС, их изменения и трансформации в процессе колебания УГВ, а также для обоснования и определения эффективности санационных работ.

Список литературы / References

1. Огняник Н.С. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, А.Л. Брикс, И.С. Пашковский, Д.В. Коннов. – Киев: А. П. Н., 2006. – 278 с.

Ognianik N.S., Paramonova N.K., Bricks A.L., Pashkovskiy I.S., Konnov D.V., 2006. The fundamentals of studying of subsurface contamination with light petroleum products. Kiev: A. P. N., 278 p. (in Russian).

2. Lenhard R.J. A parametric model for predicting relative permeability-saturation-capillary pressure relationship of oil-water systems in porous media with mixed wettability / R.J. Lenhard,

M. Oostrom // Transport in Porous Media. – 1998. – Vol. 31. – P. 109–131.

Lenhard R.J., Oostrom M., 1998. A parametric model for predicting relative permeability-saturation-capillary pressure relationship of oil-water systems in porous media with mixed wettability. *Transport in Porous Media*, vol. 31, p. 109–131 (in English).

3. <http://www.usssl.arc.usda.gov/models> <http://www.usssl.arc.usda.gov/models> (in English).

Статья поступила
23.02.2016

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ РАПЫ ВОСТОЧНОГО ЛЕЧЕБНОГО БАСЕЙНА САКСКОГО ОЗЕРА НА ОСНОВЕ БАЛАНСА МАСС СОЛЕЙ И ОБЪЕМОВ РАССОЛОВ

А.Б. Ситников

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: geoj@bigmir.net

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией техногенной гидрогеологии.

Предложены и предварительно опробованы по известным исходным данным методы расчета испарения из водных рассолов Восточного лечебного бассейна Сакского озера, основанные на балансе объемов рапы, массовых содержаний растворенных солей и растворителя (воды). Рапа получается путем искусственного периодического пополнения морской водой и за счет ее природного испарения до необходимой концентрации. Результаты расчетов из-за вероятностного характера и неизвестных погрешностей используемых исходных данных не позволяют оценить достоверность предлагаемых методов. Поэтому требуется тщательный критический анализ применяемых параметров.

Ключевые слова: баланс воды и солей, жидкие водные рассолы, рапа, составляющие баланса, массовое содержание веществ, плотность, испарение.

THE ESTIMATION TECHNIQUE FOR EVAPORATION FROM THE SURFACE OF BRINE AT THE EASTERN REMEDIAL BASIN OF SAKY LAKE USING THE BALANCE OF SALT MASSES AND SALT BRINE VOLUMES

A. B. Sitnikov

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: geoj@bigmir.net

Doctor of geological-mineralogical sciences, professor, chief of technogenic hydrogeology laboratory.

The calculation methods for evaporation from aqueous salt brines at the Eastern remedial basin of Saky Lake based on the balance of brine volumes, weight contents of dissolved salts and solvent (water) are proposed and tested using the known initial data. Brine is formed as a result of artificial periodic refill by seawater and its natural evaporation to the certain concentration. Calculation data don't allow estimating the assurance of the proposed methods due to the probabilistic nature and unknown uncertainties of initial data. Thus the comprehensive critical analysis of implemented parameters is needed.

Key words: balance of water and salts, liquid aqueous solutions, brine, balance components, weight contents of compounds, density, evaporation.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВИПАРОВУВАННЯ З ПОВЕРХНІ РОПИ СХІДНОГО ЛІКУВАЛЬНОГО БАСЕЙНУ САКСЬКОГО ОЗЕРА НА ОСНОВІ БАЛАНСУ МАС СОЛЕЙ ТА ОБ'ЄМІВ РОЗСОЛІВ

А.Б. Ситніков

Институт геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: geoj@bigmir.net

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач лабораторії техногенної гідрогеології.

© А.Б. Ситников, 2016

Запропоновані та попередньо опробовані за відомими вихідними даними методи розрахунку випаровування з водних розсолів Східного лікувального басейну Сакського озера, основані на балансі об'ємів ропи, масових вмістів розчинених солей і розчинника (води). Ропи отримується шляхом штучного періодичного поповнення морською водою і за рахунок її природного випаровування до необхідної концентрації. Результати розрахунків через ймовірний характер і невідомі похибки уживаних вихідних даних не дозволяють оцінити достовірність запропонованих методів. Тому потрібен більш ретельний критичний аналіз застосовуваних параметрів.

Ключові слова: баланс води та солей, рідких водних розсолів, ропи, складові балансу, масовий вміст речовин, щільність, випаровування.

Рапа Сакського озера – это высокоминерализованный полиминеральный рассол, формирующийся в условиях грязевого месторождения. За счет многократного концентрирования морских солей и обмена веществ с целебной грязевой толщей Сакская рапа имеет минерализацию около 200 г/дм³ и богатейший химический состав (соли натрия, магния, кальция, железа, калия, ионы йода, брома, борная кислота и другие микроэлементы, растворенные газы и органические соединения), определяющие ее косметическую и терапевтическую ценность. Рапа предназначена для приготовления лечебных ванн, ванночек, полостных орошений, ингаляций в домашних условиях (литровая бутылка рапы ценой примерно 125 грн имеется в продаже) и применения процедур прямо в озере. Рапные ванны и лиманные купания стимулируют деятельность сердца и сосудов, обменные процессы, повышают мышечный тонус, укрепляют центральную нервную систему, а также успешно применяются для лечения простудных, гинекологических и кожных заболеваний.

Восточный бассейн-водоем характеризуется переменным гидрологическим режимом и минерализацией от 96 до 250 г/дм³. Для регулирования водного баланса бассейна создана гидротехническая система, состоящая из каналов и насосных станций, позволяющая отводить излишки рапы в биологический пруд-поглотитель в осенне-зимний период и проводить закачку морской воды в летний сезон для повышения объема и снижения минерализации. Пропускная способность насоса 864 м³/ч не может обеспечить быстрого наполнения Восточного бассейна, поэтому подача морской воды осуществляется заблаговре-

менно до периода интенсивного природного испарения, обычно в марте и мае. В настоящее время назрела необходимость в достоверном прогнозировании дополнительного объема закачки морской воды в летний период, на основании которого спланировать наиболее эффективный режим работы гидротехнической системы [Чабан, 2014].

Гидрологические наблюдения на Сакском озере ведутся с 1926 г. В 80-90-х годах прошлого столетия действовала автоматическая информационная система и была создана эколого-гидрохимическая модель, предназначенная для выполнения прогнозов изменения гидрохимических показателей, в том числе прогнозов водного баланса. Сейчас прогноз водного баланса не осуществляется. Хотя накоплены эмпирические данные климатических, гидрологических и гидрогеологических наблюдений на Сакском озере за последние 20 лет, которые систематизированы, в частности в диссертации канд. геол. наук В.В. Чабана [Чабан, 2014], посвященной оценке техногенного воздействия на экологическое состояние водосбора и гидроминеральные ресурсы Сакского озера.

Восточный бассейн – это один из семи изолированных друг от друга водоемов, каждый из которых имеет свое промышленное и лечебное назначение. Именно Восточный бассейн – основной район добычи и использования минеральных ресурсов (лечебных пелоидов) и покровной рапы. Согласно работе [Чабан, 2014], его площадь составляет около 1 160 000 м², глубина от 0,4-0,6 до 1,02 м. При минимально допустимом уровне рапы 1,20 м абс., объем составляет около 640 000 м³, глубина 0,55 м; при оптимальном 1,05 м

абс. объем около 814 000 м³ и глубина 0,70 м. Минерализация (точнее плотность) растворенных основных солей в подаваемой морской воде, за исключением воды, составляет: $\sum_{\kappa}^{N-1}(\rho_{\kappa})_p^0 = 18,1$ кг/м³, количество

веществ в ней $\sum_{\kappa}^{N-1} \frac{(\rho_{\kappa})^0}{M_{\kappa}} = 606,87$ моль/м³, где ⁰ – указывает на стандартное значение подаваемой морской воды.

Для морской воды в Черном море наблюдаются небольшие изменения солевого состава не более 1%. По сравнению с Мировым океаном содержится несколько больше углекислого Са и КСl, но меньше сернокислого кальция. Кстати, Черное море у Южного берега Крыма имеет $\sum_{\kappa}^{N-1}(\rho_{\kappa})_p^0 = 21,09$ кг/м³ при $\sum_{\text{л}}^{N-1} \frac{(\rho_{\kappa})_p}{M_{\kappa}} = 668,78$ моль/м³ и $\rho_p = 1020$ кг/м³, а Мертвое море $\rho_p = 1258$ кг/м³ при $(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p = 0,99$ кг/м³.

Согласно работе [Чабан, 2014], на 05.05.2010 г. минерализация рапы Восточного бассейна составляла 134,278 кг/м³, на 01.06.2010 г. – 120,82 кг/м³, в среднем за май – 127,549 кг/м³; на 01.07.2010 г. – около 148,761 кг/м³, в среднем за июнь – 134,79 кг/м³; на 02.08.2010 г. – около 177,862 кг/м³, в среднем за июль – около 163,31 кг/м³; на 01.09.2010 г. – около 179,337 кг/м³, в среднем за август – 178,60 кг/м³; на 04.10.2010 г. – около 186,014 кг/м³, в среднем за сентябрь – 182,675 кг/м³. Количество вещества, рассчитанное по средним его значениям, составляло в июне этого года около 4282,41, а в июле – 4252,86 моль/кг.

По среднесуточным данным метеостанции «Саки», расположенной непосредственно в центре Восточного водоема, в мае, июне, июле, августе, сентябре средние значения температур (°С) таковы: 15,2; 20,4; 23,8; 22,8; 17,7; сумма атмосферных водных осадков (мм водян. слоя): 29, 41, 37, 24, 29; относительная влажность воздуха (%): 59, 54, 47, 47, 52. Из работы [Чабан, 2014] нам также известны среднесуточные температуры воздуха (°С) за указанные месяцы в 2008 г.: 15,9; 20,5; 25,0; 21,1; 17,9. Кроме того, указано, что температура рапы в июне 2015 г. изменилась от 19 до 21,5 (°С). Вообще температура поверхностного

слоя Сакского озера обычно определяется температурой воздуха. Эти данные не противоречат работам [Благов, Иванов, 1992; Чабан, 2014].

В работе [Чабан, 2014] упоминается, что грунтовые воды в изучаемый водоем поступают главным образом с северной части в количестве 2652 м³/мес с минерализацией не более 13 г/дм³. Наиболее очевидно, что в июне и июле не было поступления морской воды и отбора на бальнеологическое применение. Известно, что средний уровень рапы в Восточном водоеме в мае 2010 г. составлял около 0,8 м абс., т. е. объем водоема был равен 1 104 000 м³ при глубине 0,952 м.

В нашем понятии пятипоказательной критерияльной оценки достоверности [Химический..., 1983; Ситников, 2010] представленная информация не может быть использована для доказательства достоверного прогноза прежде всего потому, что имеет вероятностный характер. Однако, без сомнения, она пригодна для предварительной проверки предлагаемых количественных расчетов, при сравнительно высокой вероятности оправданных результатов. В настоящее время мы систематизируем и критически анализируем накопленный многочисленный эмпирический материал, который будет отвечать поставленным требованиям достоверности.

Чтобы обосновать водный и солевой балансы Восточного лечебного бассейна Сакского озера, необходимо использовать всеобщий закон сохранения массы веществ [Физический..., 1984; Ситников, 2010], который требует неизменности алгебраической суммы балансовых составляющих, отражающих для исследуемого объекта изменения в нем массы веществ во времени, поступление и уход из объекта, а также внутреннее химическое и физическое преобразование, в частности фазового состояния объекта.

Для Восточного лечебного бассейна, т. е. жидкого водного раствора, в общем случае такое балансовое уравнение будет иметь следующий вид:

$$m_{\text{бас}}^{\tau+1} - m_{\text{бас}}^{\tau} = m_{\text{морс}} + m_{\text{осад}} + m_{\text{гр}} + m_{\text{возд}} + m_{\text{сток}} + m_{\text{дно}} + m_{\text{конд}} + m_{\text{хим}} + m_{\text{лед}} + m_{\text{дамб}} - m_{\text{исп}} - m_{\text{бальн}}, \quad (1)$$

где $\tau, \tau + 1$ – дискретные моменты времени, указывающие на время определения балансовых составляющих и отражающие времен-

ной интервал расчетного времени $t^{\tau+1} - t^{\tau}$, величина которого определяется интенсивностью их проявления, обычно с точностью до суток или часового проявления; $m_{\text{бас}}$ – масса жидкой воды (H_2O) или солей в водном растворе всего бассейна, кг; $m_{\text{морс}}$ – масса жидкой воды или солей в морской воде, периодически пополняющей водоем за расчетный период, кг; $m_{\text{осад}}$ – масса жидкой воды или солей, поступающих в водоем за расчетный период, кг; $m_{\text{гр}}$ – приток этих веществ с грунтовыми водами за расчетный период, кг; $m_{\text{возд}}$ – ветровой привнос за расчетный период, кг; $m_{\text{сток}}$ – поступление с поверхностным стоком, кг; $m_{\text{дно}}$ – переток за расчетный период из залегающих ниже отложений, кг; $m_{\text{бальн}}$ – отбор за расчетный период для бальнеологических целей, кг; $m_{\text{конд}}$ – конденсация атмосферной влаги, приведенная к расчетному периоду, кг; $m_{\text{исп}}$ – вследствие испарения за расчетный период, кг; $m_{\text{хим}}$ – вследствие химических преобразований за расчетный период (в том числе осаднения и изменения солевого состава), кг; $m_{\text{лед}}$ – вследствие превращения в лед и сублимации из него за расчетный период, кг; $m_{\text{дамб}}$ – вследствие фильтрации через глинистую дамбу за расчетный период, кг.

Все приведенные массы удобно указывать в кг, они являются средними за расчетный интервал времени $\tau, \tau + 1$.

Проблемными вопросами в уравнении являются составляющие, отражающие вследствие испарения превращение поступающей морской воды в лечебную рапу.

Так как испарение главным образом проявляется в летние месяцы, есть смысл сократить уравнение (1), исключив составляющие вследствие конденсации и льдообразования. Из-за очевидной малости можно исключить ветровой привнос и фильтрацию через дно из-за наличия непроницаемых залегающих ниже отложений. Кроме того, специальными дренажными сооружениями исключен поверхностный сток, например со стороны жилого массива г. Саки дренажным каналом, а с южной стороны проходит обходной канал. Фильтрация через глинистые водонепроницаемые дамбы возможна лишь в аварийных ситуациях.

Интересно, что для морских и океанических вод практически отсутствуют химичес-

кие преобразования, изменяющие основные свойства рапы: общую минерализацию, массовое количество солей, плотность воды. После выпаривания и разбавления чистой водой указанные свойства восстанавливаются. Кстати, это не исключает загрязнения рапы микроколичественным поступлением опасных органических и неорганических веществ.

Без сомнения, для Восточного бассейна первостепенное значение имеет балансовая составляющая за счет поступления морских вод, а также составляющая отбора рапы на бальнеологию. Целесообразно также оценивать роль атмосферных осадков и притоков грунтовых вод.

Таким образом, общее балансовое уравнение можно упростить при его использовании, в частности за июнь, июль и август:

$$m_{\text{бас}}^{\tau+1} - m_{\text{бас}}^{\tau} = m_{\text{морс}} + m_{\text{осад}} + m_{\text{гр}} - m_{\text{бальн}} - m_{\text{исп}}.$$

Учитываем, что любую массу вещества «к» можно оценить по формуле $m_k = \rho_k \cdot V_p$, где $V_k = V_p$ – объем вещества [Физический..., 1984; Браун, Лемей, 1983], точнее объем жидкого водного раствора, в котором равномерно растворено вещество «к», м^3 ; ρ_k – плотность веществ, равная отношению достоверной массы вещества к достоверному его объему $\frac{\delta m_k}{\delta V_p}$, где δ – достоверность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Тогда предыдущее уравнение баланса жидкой воды видоизменится:

$$\begin{aligned} & [(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_{\text{бас}}^{\tau+1} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} - [(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_{\text{бас}}^{\tau} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} = \\ & = [(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_{\text{морс}} \cdot V_{\text{морс}} + [(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_{\text{осад}} \cdot V_{\text{осад}} + \\ & + [(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_{\text{гр}} \cdot V_{\text{гр}} - (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p \cdot V_{\text{бальн}} - \\ & - (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{исп}} \cdot V_{\text{исп}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_i$ – плотность жидкой воды при конкретной температуре ($^{\circ}\text{C}$) и давлении в составе водных растворов разного генезиса (i), в первом приближении изменяется так же, как и чистая вода. При необходимости изменения этих плотностей от температуры можно учесть согласно таблице [Гороновский и др., 1987]. Изменение их от давления менее значительно, судя по коэффициентам сжимаемости за счет давления и теплового расширения [Винников, Прокуряков, 1988]:

$$\alpha_T = 2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}, \quad \alpha_{\text{давл}} = 5 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Па}}.$$

Упрощенное для летних месяцев уравнение солевого баланса также упростится:

$$\left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{бас}}^{\tau+1} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau+1} - \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{бас}}^{\tau} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} = \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{морс}} \cdot V_{\text{морс}} + \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{осад}} \cdot V_{\text{осад}} + \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{гр}} \cdot V_{\text{гр}} - \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{бальн}} \cdot V_{\text{бальн}} - \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{исп}} \cdot V_{\text{исп}}, \quad (3)$$

где $\left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_i$ – массовая концентрация (плотность) всех растворенных веществ разного генезиса, за исключением воды, кг/м³; $V_{\text{бас}}^{\tau}, V_{\text{бас}}^{\tau+1}$ – соответственно объемы рапы Восточного бассейна на момент времен $t^{\tau}, t^{\tau+1}$ (м³); V_i – объемы водных растворов разного генезиса, поступившие в Восточный бассейн за расчетное время $t^{\tau+1} - t^{\tau}$ (м³).

Подчеркнем, что физическое испарение не предусматривает ухода растворенных веществ, т. е.

$$\left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{исп}} = 0.$$

Указанные объемы по существу равны сумме так называемых компетентных объемов, под которыми подразумеваем реальный объем (физическую точку), для которого усредненные значения свойств среды являются достоверными для количественных расчетов и позволяют выполнять математические операции, обоснованные понятием так называемой математической точки ($dV \rightarrow 0$). Более подробно это изложено в работе [Ситников, 2010].

По-видимому, для Восточного бассейна компетентный объем в первом приближении равен 1 м³, компетентное время $\delta t \approx 1$ сут, а компетентная глубина исследуемого бассейна будет примерно $0,552 \div 1,02$ м, что подтверждается многолетним опытом эксплуатации этого месторождения рапы.

Обращаю внимание, что принятые для бассейна $(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p$ и $\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p$ представляют по сути средние значения как минимум по 10 характерным для бассейна точкам [Вентцель и др., 1998], т. е. $\left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{\text{cp}} = \frac{\sum_{10} \cdot \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p}{10}$. Такое же представление о средних значениях составляющих солевого баланса. Хотя для рапы исследуемого водоема при поддерживаемых эффективных уровнях около 0,40 ÷ 0,60 м быстрое выравнивание минерализации за счет поступившей морской воды может обеспечиваться ветровым перемешиванием и особенностями заполнения морской водой [Благов, Иванов, 1992].

Так как поступление веществ (воды и солей) в водоем обычно происходит нерав-

номерно, надо эти поступления привести к принятому расчетному периоду времени $t^{\tau+1} - t^{\tau}$. Это значит, что вначале находятся средние реальные значения за компетентное время, в частности $\delta t = 1$ сут, а затем путем умножения определяют суммарные значения за $t^{\tau+1} - t^{\tau}$. Кстати, суммарные атмосферные осадки обычно усредняются за месяц, однако июль и август имеют 31 сутки, а июнь 30 суток. В этом случае желательно учесть это различие.

Конкретизируем значение составляющей баланса воды за счет испарения. Согласно уравнению (2) она равна:

$$(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{исп}} \cdot V_{\text{исп}} = \rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}} \cdot (t^{\tau+1} - t^{\tau}) \cdot S_{\text{бас}},$$

где $\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}$ – массовая скорость испарения паробразной влаги (кг/м² · сут).

Из-за допущения о малости изменения плотности воды обменных слабоминерализованных жидких водных растворах есть смысл сократить уравнение (2) на $[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p]_i$, получив традиционно используемое для расчетов балансовое уравнение суммы объемов жидких рассолов. В частности, желательно на плотность воды с учетом влияния температуры: при 20,4 °С плотность равна 998,12 кг/м³, при 22,8 °С – 997,58 кг/м³, при 23,8 °С – 997,24 кг/м³, при 25,0 °С – 997,04 кг/м³ [Винников, Проскураков, 1988; Гороновский и др., 1987; Физический..., 1984].

Итак, после сокращения плотностей воды в уравнении (2) получим следующее упрощенное равенство:

$$V_{\text{бас}}^{\tau+1} - V_{\text{бас}}^{\tau} = V_{\text{морс}} + V_{\text{осад}} + V_{\text{гр}} - V_{\text{бальн}} - V_{\text{исп}}, \quad V_{\text{исп}} = \frac{\rho_{\text{п}} \vartheta_{\text{п}} \cdot S_{\text{бас}} (t^{\tau+1} - t^{\tau})}{(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{п}|T^{\circ}\text{C}}}$$

Напомню, что плотность воды в растворе может оказаться для рассолов существенно меньше, чем для чистой воды. Этот эффект даже назван стрикционным [Ситников, 2010]. Одно из его объяснений заключается в том, что часть растворенных веществ внедряется в некую условную пустоту матрицы жидкой воды, несколько расширяя ее и тем самым уменьшая плотность растворителя (воды). Экспериментально плотность раствора можно определить на образце массой 1 кг, зная общее количество или массу растворенных веществ, а также объем раствора.

Тогда $(\rho_{H_2O})_{p, T^{\circ}C} = \rho_{p, T^{\circ}C} - \sum_{k=1}^{N-1} (\rho_k)_{p, T^{\circ}C}$.

Прежде, чем приступить к количественным расчетам, укажем, что в отдельных случаях по изменению во времени плотности растворенных веществ можно рассчитать изменение объема раствора. Например, если

$$\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^{\tau} \cdot V_p^{\tau} = \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^{\tau+1} \cdot V_p^{\tau+1},$$

а сам раствор остается гомогенным жидким и не происходит его химического преобразования, то при известных массовых концентрациях получим:

$$\delta V_p^{\tau+1} = \frac{\sum_k^N (\rho_k)_p^{\tau}}{\sum_k^N (\rho_k)_p^{\tau+1}} \cdot \delta V_p^{\tau}.$$

Это значит, что объем раствора на t^{τ} уменьшится во столько раз, на сколько плотность растворенных веществ меньше ее плотности на $t^{\tau+1}$. Известно, что объем бассейна в мае составлял 1 104 000 м³ при средней глубине 0,8 м абс. Значит,

при $\frac{\sum_k^N (\rho_k)_p^{\tau}}{\sum_k^N (\rho_k)_p^{\tau+1}} := 0,8122$ в июне получим

$$V_{бас}^{\tau+1} = 0,8122 \cdot 1\,104\,000 = 896\,641,42 \text{ м}^3.$$

Наконец, приступим к количественным расчетам, используя упрощенные уравнения баланса воды (точнее, баланса объема воды) и солей.

Начнем с уравнения баланса солей. Для оценки $V_{бас}^{\tau+1}$ за июнь воспользуемся уравнением (3), учитывая, что в июне и июле отсутствовали составляющие, отражающие поступление морской воды и отбор на бальнеологию:

$$\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^{\tau+1} \cdot V_{бас}^{\tau+1} = \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^{\tau} \cdot V_{бас}^{\tau} + \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^{\tau} \cdot V_{осад} + \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^{\tau} \cdot V_{гр}. \quad (5)$$

При заведомо большой концентрации растворенных веществ 0,05 кг/м³ и их количестве 0,041 м водян. сл./мес атмосферные осадки в количестве 47 560 м³ обеспечили поступление максимум $0,041 \cdot 0,05 \cdot S_{бас} = 2378$ кг солей. Это количество составляет $\frac{2378 \cdot 100}{148,761 \cdot 896641,42} = 0,0018\%$ от содержания солей в водоеме на 01.07.2010 г.

Напомню, что поступление солей с грунтовыми водами за июнь со стороны северного берега Восточного бассейна составляло 2652 м³/мес при их минерализации 13 кг/м³, т. е. $2652 \cdot 13 = 34\,476$ кг/мес.

Это соответствует $\frac{34476 \cdot 100}{148,761 \cdot 896641,42} = 0,025\%$ от реально зафиксированной плотности рапы.

Таким образом, приведенные расчеты указывают на практически незначительное поступление солей и на главенствующую роль природного испарения, которое можно оценить так:

$\frac{V_{исп}^{июнь}}{S_{бас}} = V_{бас}^{\tau+1} - V_{бас}^{\tau} - 896\,641,42 - 1\,104\,000 = -207\,358,6$ (1160000 · 0,179) м³/мес, где $\delta S_{бас} = 1\,160\,000$ м²; $V_{исп}^{июнь}|_{T^{\circ}C} = -0,179$ м водян. сл./мес – испарение воды.

Однако указанное значение $-207\,358,6$ м³/мес, т. е. $-0,179$ м водян. сл., является явно заниженным, так как солевой баланс не учитывает водного объема осадков 47 560 м³/мес и притока с грунтовыми водами 2652 м³/мес, которые следует добавить. В результате значение испарения в июне 2010 г. составит $-(207\,358,6 + 47\,560 + 2652) = -257\,570,6$ м³/мес. Следовательно, испарение в иных единицах измерения будет равно $\frac{V_{исп}^{июнь}}{S_{бас}} = -0,222$ м водян. сл./мес.

Из сказанного следует вывод, что солевой баланс сам по себе может вносить значительную ошибку при расчете испарения, в частности $\frac{0,222 - 0,179}{0,222} \cdot 100 = 19,94\%$. Его следует дополнять, используя водный баланс либо единовременные фактические значения концентраций и объемов изучаемых рассолов. Последнее утверждение, несомненно, более правильное и необходимое при оценке достоверности прогнозных результатов.

Рассчитаем таким же образом испарение за июль. Без сомнения за этот месяц в водоем не поступило ощутимого количества солей, и плотность рапы увеличилась лишь за счет физического испарения. Так, за

счет осадков поступило $\frac{0,037 \cdot 0,05 \cdot 1160000}{177,862 \cdot 749936,8} \cdot 100 = 0,016\%$ от плотности рапы на 02.07.2010 г. Составляющая за счет грунтовых вод равна $\frac{34476 \cdot 100}{177,862 \cdot 749936,8} = 0,026\%$. Объем бассейна на

02.07.2010 г. составляет $\frac{148,761}{177,862} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} = 0,8364 \times 896641,42 = 749936,8 \text{ м}^3$. Следовательно, $\frac{V_{\text{исп}}^{\text{июль}}}{S_{\text{бас}}} = 749936,8 - 896641,42 = -146704,62 \text{ м}^3/\text{мес}$, т.е. около $\frac{146704,62}{1160000} = -0,1265 \text{ м водян. сл./мес}$.

Однако указанное значение может быть уточнено за счет осадков и грунтовых вод (42920 + 2652): $-(146704,62 + 45572) = -192276,62 \text{ м}^3/\text{мес}$, т.е. $\frac{V_{\text{исп}}^{\text{июль}}}{S_{\text{бас}}} = -\frac{149356,62}{1160000} = -0,1657557 = -0,166 \text{ м водян. сл./мес}$.

Теперь обратимся к упрощенному уравнению водного баланса, точнее, баланса объемов воды. Напомним, что мы допустили в июне и июле отсутствие притоков морских вод и отбора рапы на бальнеологию. Составляющая за счет осадков в июне будет равна $0,041 \cdot 1160000 = 47560 \text{ м}^3$ (т.е.

$\frac{47560}{1104000} \cdot 100 = 3,89\%$ от объема водоема в начале месяца). Составляющая за счет грунтовых вод по расчету в июле будет равна $0,037 \cdot 1160000 = 42920 \text{ м}^3$, т.е. $\frac{42920 \cdot 100}{896641} = 4,79\%$

от объемов на 01.07.2010 г. Соответственно, за счет грунтовых вод в июне и июле приток составит $2652 \text{ м}^3/\text{мес}$. Есть смысл

учесть эти изменения с целью расчета испарения.

За июль 2010 г. месячное реальное пополнение воды в Восточный водоем без испарения будет равно

$$V_{\text{бас}}^{\text{июль}} = V_{\text{бас}}^{\tau} + V_{\text{осад}} + V_{\text{гр}} = 1104000 + 47560 + 2652 = 1154212 \text{ м}^3.$$

Из-за отсутствия данных о реальном объеме воды на $t^{\tau+1}$ примем рассчитанное по солевому балансу

$$V_{\text{бас}}^{\tau+1} = \frac{120,82}{148,761} \cdot 1104000 = 896641,42 \text{ м}^3. \text{ Тогда}$$

$$V_{\text{исп}}^{\text{июль}} = V_{\text{бас}}^{\tau+1} - V_{\text{бас}}^{\text{июль}} = 896641,42 - 1154212 = -257570,58 \cdot (1160000 \cdot 0,22204336) \text{ м}^3.$$

$$\text{Отсюда } \frac{V_{\text{исп}}^{\text{июль}}}{S_{\text{бас}}} = -0,2220436 \text{ м водян. сл./мес.}$$

Теперь оценим испарение по балансу объемов рассолов за июль 2010 г.:

$$V_{\text{бас}}^{\text{июль}} = 896641,42 - 42920 + 2652 = 942213,42 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{бас}}^{\tau+1} = \frac{148,761}{177,862} \cdot 896641,42 = 749936,8 \text{ м}^3.$$

Тогда $V_{\text{исп}}^{\text{июль}} = 749936,8 - 942213,42 = -192276,62 \times (1160000 \cdot 0,165755) \text{ м}^3$.

Значит, $\frac{V_{\text{исп}}^{\text{июль}}}{S_{\text{бас}}} = -0,165755 = -0,166 \text{ м водян. сл./мес}$.

Наконец, чтобы оценить в первом приближении погрешности упрощения уравнения баланса массы воды, как растворителя, в уравнении баланса объемов рассолов, воспользуемся значениями плотностей, рассчитав их согласно формуле:

$$(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \big|_{T^{\circ}\text{C}} - \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_i \right],$$

где $\rho_{\text{H}_2\text{O}} \big|_{T^{\circ}\text{C}}$ – плотность воды при данной температуре, кг/м^3 ; i – указывает на плотность воды в жидких водных рассолах разных водобалансовых составляющих; $\left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_i \right]$ – плотность всех растворенных солей.

Итак, в июне 2010 г. для Восточного бассейна при $\rho_{\text{H}_2\text{O}} \big|_{20,4 T^{\circ}\text{C}} = 998,12 \text{ кг/м}^3$, $V_{\text{бас}}^{\tau} = 1104000 \text{ м}^3$,

$$V_{\text{бас}}^{\tau+1} = \frac{120,82}{148,761} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} = 896641,42 \text{ кг/м}^3, V_{\text{осад}}^{\text{июль}} = 47560 \text{ м}^3, V_{\text{гр}}^{\text{июль}} = 2652 \text{ м}^3, \text{ плотность воды}$$

$$\left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p \right]_{\text{бас}}^{\tau} = 998,12 - 120,82 = 877,3 \text{ кг/м}^3, \text{ т.е. } (\rho_p)_{\text{бас}}^{\tau} = 1139,9 \text{ кг/м}^3; \left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p \right]_{\text{бас}}^{\tau+1} = 998,12 -$$

$$-148,761 = 849,36 \text{ кг/м}^3, (\rho_p)_{\text{бас}}^{\tau+1} = 1117,36 \text{ кг/м}^3; (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{осад}}^{\text{июль}} = 998,12 - 0,05 = 990,07 \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{т.е. } (\rho_p)_{\text{осад}}^{\text{июль}} = 1002,0 \text{ кг/м}^3; (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{гр}} = 998,12 - 13 = 985,12 \text{ кг/м}^3, (\rho_p)_{\text{гр}}^{\text{июль}} = 1015,11 \text{ кг/м}^3.$$

Обращу внимание, что согласно [Таблицы..., 1976; Гороновский и др., 1987; Ситников, 2010], указанные плотности близки к реальным.

Напомним, что масса испарившейся воды равна $\rho_{\text{H}_2\text{O}} \tau_{\text{°C}} \cdot V_{\text{исп}}$, и эта величина должна быть равна

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} \tau_{\text{°C}} \cdot V_{\text{исп}}^{\text{июнь}} = \left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} \right]^{\tau} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} + (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{осад}}^{\text{июнь}} \cdot V_{\text{осад}}^{\text{июнь}} + (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{гр}}^{\text{июнь}} \cdot V_{\text{гр}}^{\text{июнь}} - \left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} \right]^{\tau+1} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau+1}.$$

Решаем указанное уравнение, подставив численные значения:

$$998,12 \cdot V_{\text{исп}}^{\text{июнь}} = 877,3 \cdot 1\,104\,000 - 849,36 \cdot 896\,641,42 + 998,07 \cdot 47\,560 + 985,12 \cdot 2652.$$

$$998,12 \cdot V_{\text{исп}}^{\text{июнь}} = 9685 \cdot 9200 - 761\,574\,870 + 46\,992\,608 + 2\,612\,538,2 = 256\,569\,477,2 \text{ кг.}$$

$$V_{\text{исп}}^{\text{июнь}} = \frac{256\,569\,477,2}{998,12} = 257\,053 = (1\,160\,000 \cdot 0,2215974) \text{ м}^3, (\theta_{\text{п}})_{\text{исп}}^{\text{июнь}} = 0,222 \text{ м водян. сл./мес.}$$

$$\text{В июле 2010 г. при } \rho_{\text{H}_2\text{O}}_{22,84 \text{ °C}} = 997,58 \text{ кг/м}^3, V_{\text{бас}}^{\tau} = 896641,42 \text{ м}^3; V_{\text{бас}}^{\tau+1} = \frac{148,761}{177,862} \cdot V_{\text{бас}}^{\tau} =$$

$$= 749\,936,8 \text{ кг/м}^3, V_{\text{осад}}^{\text{июль}} = 42\,920 \text{ м}^3, V_{\text{гр}}^{\text{июль}} = 2652 \text{ м}^3 \text{ плотность воды } \left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} \right]^{\tau} = 997,58 -$$

$$- 148,761 = 848,82 \text{ кг/м}^3, \text{ т. е. } (\rho_{\text{р}})_{\text{бас}}^{\tau} = 1178,11 \text{ кг/м}^3; \left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} \right]^{\tau+1} = 997,58 - 177,862 =$$

$$= 819,72 \text{ кг/м}^3, (\rho_{\text{р}})_{\text{бас}}^{\tau+1} = 1219,93 \text{ кг/м}^3; (\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{осад}}^{\text{июль}} = 998,07 \text{ кг/м}^3; \left[(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} \right]^{\text{июль}}_{\text{гр}} = 985,12 \text{ кг/м}^3.$$

Отсюда

$$997,58 \cdot V_{\text{исп}}^{\text{июль}} = 849,82 \cdot 896\,641,42 - 819,72 \cdot 749\,936,8 + 998,07 \cdot 42\,920 + 985,12 \cdot 2652 = 2\,415\,035,82 \text{ кг.}$$

$$V_{\text{исп}}^{\text{июль}} = \frac{2\,415\,035,82}{997,58} = 2\,415\,035,82 = (1\,160\,000 \cdot 0,2081922) \text{ м}^3,$$

$$\theta_{\text{исп}} = \frac{V_{\text{исп}}^{\text{июль}}}{1160000} = 0,208 \text{ м водян. сл./мес.}$$

Как и следовало ожидать, расчеты за июнь $-0,222$ м водян. сл./мес. совпадают по водному и солевому балансам, а также балансу объемов водных рассолов, так как, по сути, мы за основу начального объема приняли $V_{\text{бас}}^{\tau} = 1\,104\,000 \text{ м}^3$, как условно фактическую величину. Однако в июле несовпадение значений на $\frac{0,208 - 0,166}{0,208} \cdot 100 = 20,19\%$ логично указывает на ошибку методов балансов солей и объемов водных растворов.

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать ряд важных выводов. Отметим, что применяемые общебалансовые методы, в том числе баланса водных объемов расчета испарения (конденсации) влаги с поверхности водных рассолов, типа рапы, вполне приемлемы, хотя лишь в первом приближении из-за возможных больших

погрешностей упрощения исходных балансовых уравнений сохранения баланса массы растворителя воды. Кроме этого недостатка, достоверность решений требует доказанной детерминированной взаимосвязи исходных параметров, а не вероятностных их значений. К тому же не доказаны ошибки, связанные с приборной точностью экспериментальных определений, усреднения по времени и пространству значений таких параметров, как концентрация растворенных солей, относительная влажность воздуха, температура, количество осадков, уровень водоема, количество воды в рассолах и др. Судя по существующей фондовой информации, ее вполне достаточно для повышения достоверности исследуемых балансовых методов и количественной оценки их погрешностей.

Список литературы / References

1. *Благов А.С.* Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря / Благов А.С., Иванов В.А. – Киев: Наук. думка, 1992. – 239 с.
Blagov A.S., Ivanov V.A. Hydrology and hydrodynamics for the shelf zone of the Black Sea. Kiev: Naukova Dumka, 1992. 239 p.
2. *Браун Т.* Химия – в центре наук / Браун Т., Лемей Г.Ю. – М.: Мир, 1983. – Ч. 1. – 447 с.; – Ч. 2. – 520 с.
Braun T., Lemey H.Yu. Chemistry – in the centre of sciences. Part 1. 1983. Moscow: Mir Publishing House, 447 p. (in Russian).
3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятности / Вентцель Е.С., Благов Н.С., Иванов В.А. – М.: Высш. шк., 1998. – 575 с.
Venttsel E.S., Blagov A.S., Ivanov V.A. Probability Theory. Moscow: Vyssh. Shk., 1998. 575 p.
4. *Винников С.Д.* Гидрофизика / Винников С.Д., Проскуряков Б.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 248 с.
Vinnikov S.D., Proskuriakov B.V., 1988. Hydrophysics. Leningrad: Hydrometeoizdat, 248 p. (in Russian).
5. *Гороновский И.Т.* Краткий справочник по химии / Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. – Киев: Наук. думка, 1987. – 829 с.
Horonovsky I.T., Nazarenko Y.P., Nekriach Ye.F., 1987. Quick Reference Handbook of Chemistry. Kiev: Naukova Dumka, 829 p. (in Russian).
6. *Ситников А.Б.* Вопросы миграции веществ в грунтах / Ситников А.Б. – Киев, 2010. – 625 с.
Sitnikov A.B., 2010. Issues of substance migration in soils. Kiev, 625 p. (in Russian).
7. *Таблицы физических величин.* Справочник / под ред. акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
Tables of physical values. Handbook, 1976. (Ed. academician I.K. Kikoin). Moscow: Atomizdat, 1008 p. (in Russian).
8. *Физический энциклопедический словарь* / гл. ред. Прохоров А.М. – М.: Сов. энцикл., 1984. – 944 с.
Physical encyclopedic dictionary, 1984. (Editor-in-Chief A.M. Prochorov). Moscow: Sovetskaya Encyclopedia, 944 p. (in Russian).
9. *Химический энциклопедический словарь* / гл. ред. Кнунянц И.Л. – М.: Сов. энцикл., 1983. – 791 с.
Chemical encyclopaedic dictionary, 1983. (Editor-in-Chief Knunians I.L.). Moscow: Sovetskaya Encyclopedia, 791 p. (in Russian).
10. *Чабан В.В.* Техногенное воздействие на эколого-геологическое состояние водосбора и гидроминеральные ресурсы Сакского озера: дис. канд. геол. наук. – Симферополь, 2015. – 231 с.
Chaban V.V. Technogenic impact on the ecological conditions of watershed and hydro-mineral resources for Saky Lake. Cand. geol. sci., diss. – Simferopol, 2014. – 231 p.

Статья поступила
10.03.2016

ПРО ЕВРИСТИЧНУ ВАРТІСНІСТЬ НЕОКРЕАЦІОНІЗМУ

К.В. Дикань

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук М.М. Іваніком)

*Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: kvdik@mail.ru
В. о. старшого наукового співробітника, кандидат геолого-мінералогічних наук.*

Доведено, що методологічною основою палеонтології є позитивізм. Проведено аналіз новацій, запропонованих неокреаціонізмом. Виявлено, що критика дарвінізму, теорії еволюції креаціоністами не ґрунтується на нових фактичних даних, не містить нових ідей, не має евристичної цінності.

Ключові слова: методологія палеонтології, дарвінізм, синтетична теорія еволюції, креаціонізм.

ABOUT COGNITIVE SIGNIFICANCE OF NEOCREATIONISM

K.V. Dykan

(Recommended by doctor geological-mineralogical sciences M.M. Ivanik)

*Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: kvdik@mail.ru
Acting senior scientific worker, candidate of geological-mineralogical sciences (Ph. D.).*

It is proved that the methodological basis of palaeontology is positivism. Analysis of innovation proposed by neocreationism was made. We found that the criticism of Darwinism, the theory of evolution by creationists, is not based on new evidence, contains no new ideas, no heuristic value.

Key words: methodology of palaeontology, Darwinism, synthetic theory of evolution, creationism.

ОБ ЭВРИСТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ НЕОКРЕАЦИОНИЗМА

К.В. Дыкань

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук М.М. Іваніком)

*Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: kvdik@mail.ru
І. о. старшого наукового співробітника, кандидат геолого-мінералогічних наук.*

Доказано, що методологічною основою палеонтології є позитивізм. Проведен аналіз новацій, запропонованих неокреаціонізмом. Показано, що критика дарвінізму, теорії еволюції креаціоністами не ґрунтується на нових фактичних даних, не містить нових ідей, не має евристичної цінності.

Ключевые слова: методологія палеонтології, дарвінізм, синтетична теорія еволюції, креаціонізм.

Останнім часом відбувається своєрідний ренесанс креаціонізму¹. Серед численних публікацій на цю тему варто виокремити доволі ґрунтовну монографію Р. Юнкера та З. Шерера [Юнкер, Шерер, 2013]. Детальний її аналіз, втім, засвідчує, що неокреаціоністам не вдалося запропонувати нових концептуальних ідей або аргументів. Більшість «новацій», на яких базується критика дарвінізму/синтетичної теорії еволюції², такими не є.

Основні засади «нового» креаціонізму такі: теорія еволюції насправді є звичайним світоглядом/ідеологією, бо не ґрунтується виключно на емпіричних даних, а має у підмурівку також їх інтерпретації/узагальнення; наразі відсутнє загальноприйняте чітке визначення базової (найнижчої) таксономічної одиниці – виду, тому доцільно запровадити новий таксон – основний тип, котрий, щоправда, не має певного положення й наповнення; явище еволюції, загалом, насправді складають два принципово різних процеси – мікро- та макроеволюція; на сьогодні відсутні емпірично очевидні реконструкції механізмів макроеволюції та процесів, які призвели до появи життя.

Пропонована ідея проста: позаяк неможливо креаціонізм підняти до рівня наукової теорії, то шляхом логічних вивертів у сфері методології опустити теорію еволюції на той же щабель – еволюційного вчення.

З цією метою теорія еволюції і креаціонізм подаються як наукові гіпотези, засновані на умоглядних побудовах дослідників, які в процесі наукового аналізу мають перевіряти висновки. При цьому цілком ігнорується той незаперечний факт, що теорія еволюції виникла з метою обґрунтування й упорядкування численних емпіричних даних із різних галузей природознавства.

Зрозуміло, що з огляду на принципи філософії креаціонізм – квазінаукове вчення, бо не відповідає таким базовим критеріям, як емпірична перевірюваність (можливість експериментального відтворення та перевірки), корисність (прогностична спроможність), здатність до корекції й розвитку тощо. Як ідеалістичне вчення креаціонізм суперечить критерію простоти, а узгодженості досягає завдяки припущенню про вплив нематеріальних/трансцендентних чинників, які не можна ні спростувати, ні підтвердити, що є чіткою ознакою псевдонауки.

Креаціонізм не має практичної користі, бо не здатен пройти емпіричну експериментальну перевірюваність, передбачати неописані явища, пояснити причини обмеження генетичних змін виключно мікроеволюцією. Він приречений на пошук уявних «сигналів Задуму», доказів наявності «планування і вольового керування» чи хоча б «яскравих вражень» самих учених від краси природи.

¹ Креаціонізм – віра в те, що світ, людина та різні форми життя на Землі створені вищою, надприродною силою. Це не цілісна доктрина. Існує багато різновидів креаціонізму з різними уявленнями про час акту творіння та різним ставленням до сучасних наукових поглядів на біологічну та геологічну еволюцію. Неокреаціонізм – спроба створити креаціонізм, не призначений суто до тлумачення конкретних священних текстів. Найвідомішою формою неокреаціонізму є концепція «Розумного задуму» (англ. *Intelligent design*). Її прихильники стверджують, що «певні характерні риси Всесвіту та живих істот можна найкращим чином пояснити дією розумного чинника, а не через неспрямований процес, такий як природний відбір». Наука повинна не обмежуватися пошуком виключно природних причин, а враховувати можливість дії понадприродних факторів. Втручання вищої сили у минулому доводиться «неспробованою складністю» (англ. *Irreducible complexity*). (*Вікіпедія*. – Креаціонізм: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%BC>).

² Синтетична теорія еволюції – комплекс уявлень про еволюційний процес, що виник унаслідок поєднання положень класичного дарвінізму з ученням про мутації та уявленнями про популяцію як елементарну одиницю еволюції. (*Вікіпедія*. – Синтетична теорія еволюції: http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F_%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D1%96%D1%97). Співвідношення дарвінізму (синтетичної теорії еволюції) певним чином відповідає теоремі Гьоделя: в рамках кожної аксіоматичної системи неминуче виникають задачі, що вирішуються лише в межах іншої, як правило, загальнішої, системи.

Спираючися на неможливість відтворення всього градуалістського ланцюга організмів, які змінюються в процесі еволюції, виявлення проміжних/перехідних форм, так званих «missing link», у реальному часі робиться спроба заперечити еволюцію як емпіричне явище. Де-факто засновниками еволюціонізму s. l. стали палеонтологи. Саме відсутність у геологічному/палеонтологічному літопису фактів трансцендентних/нематеріальних чинників (проявів дій Творця) визначила методологію їх наукового аналізу: матеріалізм (методологічний атеїзм) загалом і позитивізм зокрема [Дикань, 2014].

Еволюціонізм – це теорія, що ґрунтується на емпіричних фактах, інтерпретованих (синтетично поєднаних) ученими на засадах позитивізму. Водночас варто нагадати узагальнення відомого філософа-неопозитивіста І. Лакатоса: «Мудрим можна бути лише після подій (заднім числом)» [Лакатос, 1978]: головна проблема еволюції, що її неможливо зафіксувати в он-лайн режимі, а лише за результатами.

Хоча І. Лакатос надавав перевагу фактам верифікації додаткового змісту теорії, а не фальсифікаціям (спростовуваність – критерій К. Поппера), підкреслимо відсутність спостережень, результати яких руйнували б засади теорії еволюції. Як би креаціоністи не критикували закон необерненості еволюції Долло, проте палеонтологам невідомі факти «воскресіння» вимерлих організмів.

«Механізм коеволюції не вдалося знайти й досі, а це мало би бути завданням науки, що спирається на досвід» [Юнкер, Шерер, 2013, с. 72]. Насправді, еволюція – це процес, що фіксується як набір статичних рисунків (порівняння – кадри кіноплівки). Тому позитивістський емпіризм палеонтології допускає віднайдення лише більшого чи меншого числа кадрів. «Оживити» їх можна виключно шляхом синтез/інтерпретацій. Зрештою, з точки зору позитивізму, наука не пояснює, а лише описує явища і відповідає на запитання «як», а не «чому», тобто незнання природи механізму не є доказом його відсутності. Відтак, теорія еволюції – наукова теорія, а креаціонізм – різновид віри, ідеалізму.

Позірно переконливішою є критика креаціоністами базової (найнижчої) таксономічної одиниці – виду. Благо природознавці досліджують «проблему виду» два століття й «домоглися» того, що наразі відсутнє загальновизнане, іманентно несуперечливе його визначення. Розвиток природничих наукових дисциплін спричинив розширення характеристик цієї фундаментальної біологічної одиниці фактами/знаннями з кожної з них, і процес триває далі. Змістовне наповнення сутності виду збагатилося: первісні морфолого-анатомічні характеристики доповнено новими фактами з фізіології, генетики, ембріології, цитології, біохімії тонких речовин, екології, етології, паразитології тощо.

Водночас еволюційний дискурс і парадигмальне обмеження палеонтології на практиці зводять змістовне розмаїття природи виду до двох концептуальних підходів: морфологічного виду – всі особини подібні за морфологічними, фізіологічними та біохімічними ознаками та біологічного виду – особини, котрі в природних умовах схрещуються між собою і дають плідне потомство [Дарвін, 1991; Маур, 1984].

Для підтвердження нечіткості визначення виду Р. Юнкер і З. Шерер [Юнкер, Шерер, 2013] використали певні суперечності між практикою систематики і даними з різних предметних сфер: два види генетичні – один вид морфологічний і навпаки; міжвидова чи навіть міжродова гібридизація; штучне запліднення несхрещуваних організмів тощо, а також застосували нетаксономічні категорії: раси, породи, групи, доводячи реальність неоднозначності розмежування видів за допомогою схоластичних вивертів.

Реальну мінливість організмів, процес видоутворення, а відтак, розпливчатість переходів між близькими біологічними та морфологічними видами автори ставлять у провину таксономії й використовують їх для заперечення факту існування видів та як аргумент на користь запровадження концепції основних типів.

«Всі особини, які прямо чи непрямо пов'язані схрещуваннями, належать до одного основного типу» [Юнкер, Шерер, 2013, с. 34]. «На відміну від визначення (підкреслено

нами. – Авт.) біологічного виду, у випадку основного типу плідності гібридів не вимагається» (с. 34), тобто дискутується зміст терміну, а не природа виду³. «Плідність не вважають критерієм характеристики належності до основного типу» (с. 35), – тому автори не лише об'єднують морфологічний і біологічний види, а й виходять далеко за їх межі, допускаючи можливість далеких міжродових схрещень незалежно від способу запліднення й результатів онтогенезу гібридів: біологічні види, морфологічні види (роди) об'єднує одна модель ембріонального розвитку (морфолого-генетичний аспект), що є підставою виділення «основних типів».

Як приклади згадуються родини фазанових, качкових, в'юркових, собачих, котячих, мартишкових тощо. Позитивом подається існування чітких меж між різними основними типами, що не дивно, адже ця нетаксономічна категорія є певним аналогом традиційної родини. Насправді новизна відсутня: основні типи мало чим відрізняються від класифікаційних груп, запропонованих у барамінології⁴.

Наразі бракує інформації про єдність моделі ембріонального розвитку для живих організмів, а у випадку з викопними отримати її неможливо в принципі. Тож неемпіричність концепції доводити зайве. Апеляції авторів до можливості верифікації моделі основних типів так само не витримують критики, бо в цьому випадку значно важливішим критерієм є спростовуваність: пошук «характерного для кожного основного типу генетичного зразку» [Юнкер, Шерер, 2013, с. 46] ще попереду, проте вже зараз достат-

ньо прикладів відсутності гібридизації всередині пропонованих основних типів.

Для систематики нова таксономічна одиниця немає жодного сенсу, проте вона необхідна креаціоністам як ніби об'єктивна підстава для поділу єдиної універсальної еволюції на два процеси: мікро- та макроеволюції, котрі потрібно «розмежувати та протиставити».

Автори задаються традиційними для еволюціоністів питаннями про причини, фактори і механізми еволюції, відповідність виявлених чинників еволюції спостережуваним змінам живих організмів і т. ін. У процесі аналізу зазначених питань автори припускаються некоректностей, дрібних пересмикувань, підміни понять, коли гіпотези подаються як доведений факт, тощо. Та не це головне.

Силогізми слугують доведенню відомого: мікроеволюція (виведення нових сортів рослин або порід тварин) фіксується [Сунцов, Сунцова, 2009; Lenski, 2004; Lenski, 2008], а макроеволюція – ні. Для підтвердження макроеволюції бракує викопних решток перехідних форм, які повинні мати неповністю сформовані органи/системи, котрі не зможуть виконувати призначені функції. Тож ці організми будуть еліміновані природним добром. Імовірність випадкового виникнення життя (складних високомолекулярних сполук) із простих речовин (легких неорганічних молекул) неймовірно мала (на кшталт, випадкового складання газетної шпальти з окремих літер). Тому зародження життя неможливе без дій Творця. До того ж світові фізичні константи оптимально доцільні для виникнення біосфери і початку соціогенезу, тобто світ створено не

³ Саме через відсутність загальноприйнятого чіткого визначення виду К. Завадський дав характеристику виду за ознаками, а не означенням [Завадский, 1968].

⁴ Барамінологія – одна з креаціоністських концепцій, згідно з якою серед живих істот виділяють «створені роди» (англ. *created kinds*), відокремлені від інших за походженням. Класифікаційні групи називають барамінами. Шляхом еволюції від спільних предків могли розвинутися деякі близько споріднені біологічні таксони (наприклад, коні, осли та зебри), проте заперечують таку можливість для віддаленіших груп, тобто макроеволюція визнається можливою лише у досить вузьких межах. Основне різноманіття живої природи на Землі закладено вже на етапі творіння, а еволюція – відповідальна лише за появу дрібніших різновидів живих істот. Деякі класифікаційні групи: голобарамін – група, що походить від спільних предків і тому є генетично спорідненою, наприклад, різні види морських черепах; монобарамін – класифікаційна одиниця в рамках голобараміну, наприклад, собаки – монобарамін у рамках голобараміну, до якого разом із собаками входять також вовки та інші представники собачих. (*Bikimedia*. – Барамінологія: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F>).

випадковим чином, а згідно зі спеціальним планом Творця⁵.

Зрозуміло, що у XXI ст. неможливо заперечити факт існування мутацій, природного добору, рекомбінації, сепарації, дрейфу генів і т. ін. Тож пропонується інша проблематика: «Який механізм виникнення нових структур із цілковито новими функціями? Чи можлива лише мікроеволюція? Чи є макроеволюція результатом довготривалої в часі мікроеволюції?».

Така постановка питання засвідчує, що, попри «відсутність емпірично очевидних механізмів еволюції», заперечити факт мікроеволюції (створення нових видів і родів) неможливо. Тут і стає в нагоді концепція основних типів, що допускає мінливість усередині них, тобто можливість «оптимізації» фенотипу та генотипу організмів.

Натомість, макроеволюція ототожнюється з виходом за межі основних типів/родів і появою нових структур із цілковито новими функціями [Юнкер, Шерер, 2013]. Хоча очевидно, що, наприклад, між родинами котячих і собачих (різні основні типи) немає ніяких нових структур (і не може бути в межах одного класу), до того ж у випадку творення такі основні типи мали б виникати одночасно, що не так.

Р. Юнкер і З. Шерер не відмовляються від поняття макроеволюції [Юнкер, Шерер, 2013, с. 55] з простої причини: заперечення еволюції як такої усувало б необхідність діяльності самого Творця й суперечило б очевидному: розмаїття живої природи є доконаним фактом, хоча ми й не знаємо механізму створення нових форм. Так само загадкою є механізм зникнення живих організмів. Палеонтологія знайшла факти ради-

кальних перебудов доквілля (межі між ерами часто пов'язують із глобальними катастрофами), котрі певною мірою за допомогою дарвінізму пояснюють причини масових вимирань (елімінація менш пристосованих і поширення пристосованіших, переважно еволюційно «просунутиших» організмів), але не власне механізми цих процесів⁶.

Тим паче, що вимирання відбуваються впродовж тривалого геологічного часу, не завжди пов'язані з катастрофами й є таким самим перманентним процесом, як і еволюція. Саме той факт, що на вимирання рано чи пізно приречені всі організми незалежно від їх систематичного положення, не лише заперечує Розумний Задум, а й відповідає обом критеріям науковості – верифікації та спростуванню. В останньому випадку «живі викопні» (виняток із обов'язковості вимирання) є підтвердженням того, що природа дає шанс на виживання всім, незалежно від положення у систематичній ієрархії.

До речі, мезозойські бабки такі ж досконалі, як і сучасні. Тож знищення Творцем одних і заповнення спорожнілої лакуни їм подібними не виглядають як Розумний Задум.

Відоме явище «гомології» креаціонізм пояснює поверненням Творця до вже апробованих форм (прояв «почерку Інженера»). Тоді «почерк» мав би бути нормою новотворів у живій природі, а не винятком чи «одним із випадків». Натомість, дарвінівська версія гетерохронного створення різними групами організмів аналогічних структур у подібних природних умовах є переконливішою. Факти паралельної еволюції, тупикових гілок еволюції взагалі незбагненні з огляду на можливу дію Творця.

⁵ Антропний принцип (від гр. *anthropos* – людина) або принцип Зельманова-Картера – один із принципів сучасної космології, що встановлює залежність існування людини як складної системи та космічної істоти від фізичних параметрів Всесвіту. Фізичні розрахунки показують, що якби змінилася хоча б одна з наявних фундаментальних констант (при незмінності інших параметрів і збереженні всіх фізичних законів), то стало б неможливим існування певних фізичних об'єктів: антропні характеристики Всесвіту є підтвердженням дій Творця, котрий спроектував світ так, щоб задовольнити наші потреби, тобто неможливе виникнення та існування інтелекту у Всесвіті, властивості якого були б іншими. (*Вікіпедія*. – Антропний принцип: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BD%D0%B8%D0%B9%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF>).

⁶ Хоча розкриття емпірично очевидних механізмів макроеволюції наразі не матиме прогностичної цінності, теорії щодо їхньої сутності є. Наприклад, ароморфоз, ідіоадаптація, дегенерація, анагенез (поступова, градуальна еволюція), кладогенез (еволюційно дивергентне розщеплення видів), редукаціонізм, холізм, віталізм, філетична еволюція, емерджентна еволюція та ін.

Концепція «Розумного Задуму»/Intelligent Design полягає в тому, що в «структурах організму можна розпізнати властивості, які вказують на діяльність розумного, обдарованого волею Ініціатора (Інженера, Творця) і роблять непереконливими інші можливості їх походження» [Юнкер, Шерер, 2013, с. 306]. Дійсно, «властивості організмів справляють яскраве враження доцільності (телеології⁷) і планування» [Там же], проте дарвінізм на численних прикладах пояснює пристосування організмів до довкілля. Водночас існування «недоцільних» структур (наприклад, при статевому диморфізмі) якраз ставиться на карб теорії еволюції, хоча їх існування у випадку Розумного Задуму виглядає ще дивніше. До речі, «наймарнотратніші» форми (як-то, павичі, кольорові мушлі тощо) від рук людини ризикують загинути першими. Чи це теж Розумний Задум?

Аргументація на підтвердження Розумного Задуму фактом існування «структур складніших, ніж це потрібно для виживання» (наприклад, конструкцій, які полегшують запилення квітів родини метеликових) зовні виглядає переконливо. Це, так зване «грайливе планування», Р. Юнкер і З. Шерер розглядають, як сигнал Задуму Ініціатора. Такими ж є краса й доцільність природи загалом. Невже до появи людини природа була чорно-білою, статевого добору не існувало?... Чи Інженер творив розмаїття для задоволення власних естетичних потреб?

Природничники, послуговуючися виключно фактами, не беруть до уваги «яскраве враження» та уявні «сигнали Задуму». Природно-науковий матеріалізм (методологічний атеїзм, емпіризм, натуралізм) використовує суб'єктивні синтети та допускає пояснення виключно через природні

процеси не завдяки світоглядним упередженням, а через відсутність будь-яких фактів прояву нематеріальних чинників.

Креаціонізм у доказах наявності «планування і вольового керування» так само мудрий «заднім числом», як і дарвінізм/синтетична теорія еволюції. Різниця лише в тому, що палеонтологи постійно знаходять нові й нові докази еволюції, включно й проміжні форми, а креаціоністи штучно конструюють докази існування «комплексних, співорганізованих структур із вмонтованими одні в одні взаємозв'язками між їхніми частинами» [Юнкер, Шерер, 2013, с. 306].

Натуралізм орієнтується на сучасність не тому, що «не знає жодної інстанції, що передбачала б наперед», а тому що його методологією є позитивізм і спирання виключно на факти. Відтак, певний прогностичний потенціал натуралізму цілком перебуває у сфері припущень. Як-то, у випадку подальшого потепління клімату і танення північних льодовиків білі ведмеді приречені на вимирання, бо не мають можливостей пристосуватися до життя в інших природних умовах. Вимирання вузько пристосованих організмів при різких змінах довкілля є альфою й омегою дарвінізму. За час фанерозою зникло більше організмів, ніж існує зараз. У чому криється Розумний Задум?

Біогенетичний закон Геккеля-Мюллера завдяки досягненням ембріології (цитології) значно переглянуто й доповнено, проте зв'язок між онтогенезом і філогенезом не заперечено принципово. Він знаходить нові й нові підтвердження [Дикань, 2003].

Підтвердження Розумного Задуму за аналогією з технічними винаходами людини взагалі не витримує критики, бо ставить умовою набуття складності в одному поко-

⁷ Телеологія (від гр. *τέλειος* – заключний, досконалий) – онтологічне вчення про доцільність буття, що спирається на розумну творчу волю Творця. Прагне відповісти на запитання «чому?». Є методологічним принципом, що доповнює традиційну причинність причинами–цілями. Сучасні фідеїзм, холізм, неовіталізм, неофіналізм та інші використовують для модернізації телеології ідеалістично витлумачені дані генетики, кібернетики, психології. (Вікіпедія. – Телеологія: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F>). Певною мірою телеологія подібна ортогенезу – еволюційній теорії, яка стверджує, що розвиток живої природи зумовлений внутрішніми причинами, котрі направляють хід еволюції певним шляхом, суворо визначаючи його напрям. Спрямованість еволюції визначається тим, що сама мінливість споконвічно має певну спрямованість. Зміни живих форм відбуваються за небагатьма, суворо визначеними природою організму напрямками й успадковуються. (Вікіпедія. – Ортогенез: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B7>).

лінні. Історичні ж факти протилежні: техніка постійно змінювалася й удосконалювалася. Та її проміжні форми здебільшого втрачені для історії людства.

На завершення варто зазначити, що дарвінізм/синтетична теорія еволюції – не єдина

теорія еволюції, хоча, можливо, й найпопулярніша і найвідоміша. Є й інші. Причому деякі з них (наприклад, номогенез⁸) розвивалися в колишньому СРСР, хоча офіційним представником пануючого тоді діалектичного матеріалізму в біології дійсно був дарвінізм.

Список літератури / References

1. Дарвін Чарлз. Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь / пер. с 6-го изд. (Лондон, 1872), [отв. ред. А.Л. Тахтаджян]. Санкт-Петербург: Наука, 1991. 539 с.

Charles, 1991. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. Translation from 6th ed. (, 1872), [Editors-in-Chief A.L. Tah-tagzhan]. St. Peterburg : Nauka, 539 p. (in Russian).

2. Дикань К.В. Методологічні засади еволюціонізму в палеонтології. *Еволюція органічного світу та етапи геологічного розвитку Землі: Матеріали XXXV сесії Палеонтологічного товариства НАН України (Львів, 19–22 травня 2014 р.)*. Київ, 2014. С. 139–141.

Dykan K.V., 2014. Methodological principles of the theory of evolution in paleontology. *Organic evolution and stages of geological development of the Earth: Materials XXXV session of the Paleontological Society of NAS of Ukraine (Lviv, 19–22 may 2014)*. Kyiv, p. 139–141 (in Ukrainian).

3. Дикань Н.І. Еволюція виду *Ilyocypris salebroso* Stepanaitys, 1959 протягом пліоцену–голоцену. *Доп. АН України*. 2003. № 9. С. 121–124.

Dykan N.I., 2003. Evolution of species *Ilyocypris salebroso* Stepanaitys, 1959 during the Pliocene–Holocene. *Dopovidi Acad. Nauk Ukrainy*, № 9, p. 121–124 (in Ukrainian).

4. Завадский К.М. Вид и видообразование. Ленинград : Наука, 1968. 393 с.

Zawadski K.M., 1968. Species and speciation. Leningrad: Nauka, 393 p. (in Russian).

5. Лакатос И. История науки и ее рациональные реконструкции. В кн.: *Структура и развитие науки. Из Бостонских исследований по философии науки*. Москва : Прогресс, 1978. С. 203–235.

Lakatos I., 1978. The history of science and its rational reconstruction. In: *Structure and development of science. Boston Studies in Philosophy of Science*. Moscow: Progress, p. 203–235 (in Russian).

6. Сунцов В.В., Сунцова Н.И. Принцип видообразования микроба чумы *Yersinia pestis*: градуализм или сальтационизм? *Изв. РАН. Сер. биол.* 2009. № 6. С. 645–653.

Suntsov V.V., Suntsova N.I., 2009. Principles of Speciation of the Plague Causative Agent *Yersinia Pestis*: Gradualism or Saltation? *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, № 6, p. 645–653 (in Russian).

7. Юнкер Райнгард, Шерер Зигфрид. Еволюція: критичний підручник. Тернопіль: Мандрівець, 2013. 332 с.

Junker R., Scherer S., 2013. Evolution – ein kritisches Lehrbuch. Ternopil: Mandrivets', 332 p. (in Ukrainian).

8. Lenski R.E. Phenotypic and Genomic Evolution during a 20 000 – Generation Experiment with the Bacterium *Escherichia coli*. *Plant Breeding Reviews*. 2004. Vol. 24. Part 2. P. 225–265.

Lenski R.E., 2004. Phenotypic and Genomic Evolution during a 20 000 – Generation Experiment with the Bacterium *Escherichia coli*. *Plant Breeding Reviews*, vol. 24, part 2, p. 225–265 (in English).

9. Lenski R.E., 2008. Overview of the *E. coli* long-term evolution experiment. Michigan State University. Available at: <http://myxo.css.msu.edu/ecoli/overview.html>.

Lenski R.E., 2008. Overview of the *E. coli* long-term evolution experiment. Michigan State University. Available at: <http://myxo.css.msu.edu/ecoli/overview.html> (in English).

10. Mayr E. Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1984. 766 s.

Mayr E., 1984. Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 766 s. (in German).

Стаття надійшла

30.04.2014

⁸ Номогенез – еволюційна теорія, підмурівком якої є визнання закономірного характеру мінливості організмів, на якій ґрунтується еволюційний процес. Її автор Л.С. Берг. У подальшому вона розвивалася С.В. Мейєном. Має низку відмінностей від дарвінізму. Зокрема, віддає перевагу поліфілетизму проти монофілетизму, конвергентному розвитку проти дивергентного, закономірностям проти випадковостей, сальтационізму проти градуалізму тощо. (*Вікіпедія*. – Номогенез: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B7>).

ВЫДАЮЩИЙСЯ ГЕОЛОГ-СЪЕМЩИК И СТРАТИГРАФ ДОНБАССА ФЕОДОСИЙ НИКОЛАЕВИЧ ЧЕРНЫШЕВ

(К 160-летию со дня рождения)

Н.Н. Шаталов



Среди деятелей Геологического комитета, утвердивших его авторитет и славу, весьма почетное место принадлежит академику Феодосию Николаевичу Чернышеву (1856-1914). Он был «крупной фигурой» в старом Геологическом комитете, а с 1903 по 1914 г. – его директором. В течение многих лет Ф.Н. Чернышев работал на Урале, Шпицгергене, Новой Земле, Тимани, Донбассе, провел большую экспедицию в сердце Центральной Азии, забирался в ущелья Кавказа и поднимался на высоты Эльбруса. Кроме того, он путешествовал по Арктике, Богемии, Германии, Франции, Мексике, Канаде и США. В историю геологической науки Ф.Н. Чернышев вошел как выдающийся организатор геологических исследований, блестящий геолог-съёмщик, талантливый стратиграф и палеонтолог. Вместе с А.П. Карпинским, А.П. Павловым, С.Н. Никитиным, И.В. Мушкетовым он, несомненно, являлся основоположником геологической науки в стране.

Родился Феодосий Николаевич 24 ноября 1856 г. в Киеве. Отец и мать его учительствовали. Воображение юноши манили далекие путешествия, бесконечные просторы, тайны недр и глубин Земли. Отличаясь выдающимися способностями, он успешно окончил гимназию в Киеве. Мечты его осуществились, когда он поступил в Санкт-Петербургский Горный институт.

В 1880 г. Феодосий Николаевич окончил Горный институт, и промышленник Балашов предложил ему хорошо оплачиваемое место. Но Ф.Н. Чернышев отказался и поступил в только что учрежденный Геологический комитет – в то время единственное государственное учреждение, располагавшееся в Петербурге и занимавшееся изучением геологии и полезных ископаемых. Штаты Геологического комитета были тогда крайне ограничены – всего семь человек. Попастъ туда на работу могли только самые выдающиеся. Поэтому избрание младшим геологом в Геологический комитет было для него большой честью.

Молодому талантливому геологу было поручено составление «десятиверстной» карты 139-го листа, включавшего западный

склон Южного Урала, в то время дикой лесной области. Средства, выдававшиеся Геологическим комитетом на работы, были очень скромны. Ф.Н. Чернышеву приходилось быть весьма экономным и расчетливым. Обычно на Урале он покупал себе лошадь, нанимал рабочего, брал скудный запас провизии и отправлялся на недели в горы и леса. Как свидетельствует его бывший ученик – академик Д.В. Наливкин, даже став старшим геологом, он никогда не пользовался палаткой, так как считал, что ее перевозка доставляет слишком много хлопот. Он предпочитал проводить ночи под открытым небом, завернувшись в кошму, с седлом под головой.

Ф.Н. Чернышев работал очень много и неустанно. За 8 лет полевой работы им был собран громаднейший новый фактический материал. За период 1881-1899 гг. по геологии и стратиграфии Урала – важнейшей горнопромышленной области страны – им было опубликовано пять крупных монографий и 24 статьи. Ученый составил новую схему стратиграфии Урала, которая легла в основу не только его личных работ, но и исследований всех других уральских геологов

© Н.Н. Шаталов, 2016

на многие десятилетия. Схема Ф.Н. Чернышева доминировала там более 50 лет. И лишь позднее в нее были внесены уточнения и дополнения. Его палеонтолого-стратиграфические монографии по девону Урала дали так много, что существенно повлияли на работы геологов не только в стране, но и за рубежом. Труды ученого использованы геологами всех западноевропейских стран, геологами Украины, США, Китая и Австралии. В частности, его стратиграфические схемы и палеонтологические материалы были применены в Украине при расчленении разрезов девонских и каменноугольных отложений Донецкого бассейна.

Огромно значение научных работ Ф.Н. Чернышева в области палеонтологии и стратиграфии верхнего палеозоя Тимана, Средней Азии, Донбасса и других геологических регионов. Важно отметить, что в верхнепалеозойских отложениях Урала, Тимана, Казахстана, Донбасса и Средней Азии заключено много весьма крупных месторождений полезных ископаемых. Это – нефть Второго Баку, каменные угли Печорского бассейна, Караганды, Кузнецкого и Донецкого бассейнов, медистые песчаники Приуралья и Казахстана, калийные соли Соликамска, каменная соль Илецка и Артемовска, марганца Урала. Для изучения всех этих месторождений его работы служат основной стратиграфической базой, на которой строятся все дальнейшие исследования.

Наиболее важной из работ ученого является двухтомная монография *«Верхнекаменноугольные брахиоподы Урала и Тимана»*, опубликованная в 1902 г. в «Трудах Геологического комитета». Стратиграфическая часть ее была переведена англичанами и напечатана в изданиях Индийского геологического комитета в 1904 г. Без этой выдающейся монографии нельзя провести ни одного палеонтолого-стратиграфического исследования. До сих пор она служит важнейшим справочником. Благодаря ей Ф.Н. Чернышев бесспорно стал ведущим в мире специалистом по верхнему палеозою. Ученого много раз приглашали на консультации за границу, он был непременным участником всех международных геологических конгрессов.

В 1897 г. Феодосию Николаевичу была поручена трудная и ответственная роль Генерального секретаря VII Международного геологического конгресса, который был проведен в Санкт-Петербурге. По отзывам современников, конгресс прошел исключительно удачно. Он показал достижения отечественных геологов и закрепил широкие связи страны с геологами всего мира. Трудно переоценить значение организационных и научных трудов Ф.Н. Чернышева в деле повышения престижа отечественной геологической науки и ее приоритета в ряде областей геологии. Да и его личные монографии далеко превзошли достижения зарубежных ученых.

Заслуги ученого по достоинству были оценены, и в 1897 г. он был избран действительным членом Академии наук.

С 1882 г. на протяжении 10 лет в истории Геологического комитета был «героический период». Перед ним была поставлена гигантская задача – составление геологической карты европейской части страны, с включением в нее Урала, Донбасса и Кавказа. Появление этой карты в 1892 г. было крупным событием в истории геологии. За рубежом таких карт еще не было. Значение ее для развития горнодобывающей промышленности было очевидно, и Геологический комитет получил задание от промышленников юга страны составить детальную геологическую карту Донецкого каменноугольного бассейна.

Цель исследований – провести детальное картирование каменноугольных отложений Донбасса для точной документации и исследований угольных пластов всего бассейна и подсчета имеющихся запасов угля. Топографической основой была принята одноверстная (в 1 дюйме 1 верста) карта (масштаб 1:42 000) с горизонталями через четыре сажени 8,53 м. Для целей детального картирования Донецкий бассейн был разделен на 65 планшетов. Площадь каждого планшета составляла 420 км².

Организация этой уникальной многолетней и ответственной работы была поручена Феодосию Николаевичу. Летом 1892 г. он выехал со своими помощниками в Донецкий бассейн и на месте составил план работ, распределил обязанностями

среди сотрудников. Л.И. Лутугин начал исследования на севере Донбасса в районе г. Лисичанск, а Н.И. Лебедев на юге – в бассейне р. Кальмиус. Сам Феодосий Николаевич проработал в Донбассе лишь два года. Однако он умело подобрал молодых выдающихся исполнителей-геологов и на начальном этапе провел совместно с ними исследования. Так, в результате научно-организационных усилий Ф.Н. Чернышева была создана блестящая школа донецких геологов-съёмщиков. Во главе ее стояли такие выдающиеся ученые, как Л.И. Лутугин, Н.И. Лебедев, П.И. Степанов, Ю.А. Жемчужников. Большой вклад в исследование Донбасса внесли молодые, а со временем выдающиеся геологи – Б.Ф. Мефферт, В.И. Яворский, А.А. Снятков, Н.А. Родыгин, В.И. Соколов, А.А. Гапеев, Н.Н. Славянов, В.Н. Бауман и др. Много лет спустя под руководством акад. П.И. Степанова, а позднее – чл.-кор. Ю.А. Жемчужникова эта гигантская работа была успешно закончена.

Результаты детального геологического картирования Донецкого бассейна впервые были продемонстрированы в 1896 г. на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде, где для обозрения была выставлена уже законченная часть детальной геологической карты Донбасса, составленной учеником Ф.Н. Чернышева, скульптором и вдохновенным поэтом Донецкого края – Л.И. Лутугиным.

На VII Международном геологическом конгрессе, состоявшемся в 1897 г. в Петербурге, во второй раз были продемонстрированы результаты детального геологического картирования Донбасса. Всю 12-километровую толщу донецкого карбона Ф.М. Чернышев и Л.И. Лутугин расчленили на три отдела, а каждый отдел – на свиты. Нижний отдел был расчленен ими на семь свит (C_1^1 - C_1^7), средний – на шесть (C_2^1 - C_2^6), а верхний – на три (C_3^1 - C_3^3). За подошву каждой выделенной авторами свиты были приняты характерные мощные горизонты известняков, которые очень легко распознаются при картировании в поле. При этом граничные и внутренние горизонты известняков были обозначены крупными, а угольные пласты маленькими латинскими буквами.

Ф.М. Чернышов вместе с Л.И. Лутугиным руководил геологической экскурсией участников Международного конгресса в Донецкий бассейн. Продемонстрированные карты и масштабы выполненных геологических работ произвели неизгладимое впечатление на западноевропейских участников экскурсии. В отчете про поездку французский академик Годри подчеркнул, что палеозойские отложения Донецкого бассейна так детально изучены, что каждый геолог нашей планеты, работающий на разрезах палеозоя, должен был бы приезжать сюда учиться.

Проведенные в Донецком регионе исследования, составленные карты, разрезы и схемы были очень точными. Позднее, когда выполнялось детальное инструментальное геологическое картирование промышленных районов Донбасса в масштабе 1:5000, только в отдельных случаях были внесены уточнения и дополнения. В деле планирования и выборе мест отдельных новых шахт, новых штолен, новых штреков и квершлагов листы геологической карты Донбасса до сих пор приносят большую и незаменимую пользу.

В 1895 г. ученый был командирован на Новую Землю. Там он провел большую и исключительно успешную экспедицию. Им составлена геологическая карта региона, которая длительное время была лучшей. Она легла в основу дальнейших научных геологических исследований Арктического института бывшего СССР.

Ф.Н. Чернышев три года, как руководитель экспедиции Академии наук, исследовал Шпицберген. Эта экспедиция проводилась совместно со шведской академией наук. На основании личных исследований Феодосий Николаевич нарисовал яркие картины геологического строения и ледникового ландшафта этой наиболее северной обледенелой территории. Результаты работ экспедиции Ф.Н. Чернышева на остров в те годы привлекли внимание не только ученых, но и просто образованных людей всего мира.

В 1903 г., сразу после работ в Арктике, ученый отправился в знойную Ферганскую долину для изучения последствий Андижанского землетрясения 1902 г. Он подобрал

себе талантливых помощников и неумолимо работал сам. В результате сравнительно узкое задание (исследование землетрясения) переросло в крупнейшую научную работу – изучение геологического строения Тянь-Шаня.

В 1915 г. опубликована тектоническая карта Европы, составленная Ф.Н. Чернышевым. Она являлась логическим продолжением идей Э. Зюсса и Э. Ога. На карте выделены области складчатости разного возраста: докембрийская, каледонская, арморикано-варисская, а также альпийская складчатость с расположенными внутри нее древними ядрами.

С 1903 г. Ф.Н. Чернышев вел громадную организационную и административную работу. Под его руководством Геологический комитет вырос в крупнейшее научное учреждение. Кроме обзорной карты европейской части страны и детальной геологической карты Донецкого бассейна, в комитете были составлены и изданы детальные карты Криворожского рудного района, золотоносных и платиноносных районов Урала. Были проведены геологические исследования Кавказских минеральных вод и нефтеносных районов Апшерона, Северного Кавказа, Ухты, Средней Азии и Эмбы. Геологическая съёмка из европейской части была распространена на Сибирь, Азию, Кузнецкий каменноугольный бассейн. В организации и проведении указанных работ Феодосий Николаевич принимал активное участие. Он давал указания, помогал в составлении планов работ и лично заслушивал отчеты всех геологов. Им лично редактировались все издания Геологического комитета.

Венцом организаторской деятельности Ф.Н. Чернышева явилась постройка нового здания Геологического комитета (в настоящее время ВСЕГЕИ) – дворца геологии, как его тогда называли. Это здание, занимающее целый квартал на Среднем проспекте Васильевского острова Санкт-Петербурга, с его просторными и светлыми кабинетами, лабораториями, библиотекой, типографией и громадным музеем, носящим его имя, является памятником научно-организационной работы Феодосия Николаевича в Геологическом комитете.

Огромную работу Ф.Н. Чернышев провел также как директор геологического музея Академии наук. Геологический музей под его руководством вырос в большое научно-исследовательское учреждение. Огромный Институт геологических наук в Академии наук бывшего СССР был также основан по идее акад. Ф.Н. Чернышева. С 1908 по 1910 г. он одновременно был профессором и директором в Горном институте. Знаменитый ученый являлся членом и был секретарем Минералогического общества.

Выдающийся ученый-геолог Ф.Н. Чернышев имел открытый, веселый характер и широкую международную известность. В интересах ЕЕ ВЕЛИЧЕСТВА НАУКИ он всегда работал усердно и не щадил себя. В его лице геологическая наука имела крупного исследователя, ученого и практика, внесшего огромный вклад в создание минерально-сырьевой базы страны.

Статья поступила
02.12.2015

АКАДЕМІК ШЕСТОПАЛОВ В'ЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ

(До 80-річчя від дня народження)

В'ячеслав Михайлович Шестопалов – відомий вчений в галузі гідрогеології, екогеології, інженерної геології та радіоекології.

Народився він 18 липня 1936 р. в м. Дніпропетровськ. Після визволення України у 1944 р. сім'я Шестопалових переїхала до м. Чернівці, де В'ячеслав Михайлович закінчив середню школу із золотою медаллю. З 1954 по 1959 р. вчився на геологічному факультеті Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка та отримав диплом з відзнакою. Після його закінчення працював у Львівській та Центральній геологічних експедиціях. У 1967-1970 рр. навчався в аспірантурі Інституту геологічних наук (ІГН) НАН України, де захистив кандидатську дисертацію та продовжив

займатися науковою діяльністю. Доктор геолого-мінералогічних наук (1983), професор (1991), член-кореспондент НАН України (1988), академік НАН України (1995), заступник директора по науковій роботі ІГН НАН України (з 1984), керівник Відділення гідрогеології та інженерної геології ІГН, директор Науково-інженерного центру радіо-гідрогеоекологічних полігонних досліджень при Президії НАН України (з 1991), академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України (2004-2015).

В.М. Шестопалов нагороджений Почесною грамотою Президії Верховної Ради України за активну участь у ліквідації наслідків Чорнобильської аварії (1987), лауреат премії Ради Міністрів СРСР (1991), заслужений діяч науки і техніки України (1998), кавалер ордена «За заслуги» першого, другого та третього ступенів, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2004).



Академік В.М. Шестопалов – автор понад 500 наукових робіт, серед яких 32 монографії, 22 геологічні і гідрогеологічні карти, включаючи три міжнародні та декілька карт в Національному атласі України. За найбільш значущі монографії, зокрема чотиритомне видання «Водообмен в гидрогеологических структурах Украины» та «Методика оценки естественных ресурсов подземных вод», присуджена Державна премія України в галузі науки і техніки у 2004 р.

Основними результатами фундаментальних досліджень вченого є такі:

- розробка теоретичних засад та методологічних принципів дослідження закономірностей водообміну в гідрогеологічних структурах України;
- створення нових та вдосконалення відомих методів та методик гідрогеологічних досліджень;
- виявлення та всебічне вивчення регіональних та локальних закономірностей формування водообміну та ресурсів підземних вод в основних гідрогеологічних структурах України;
- дослідження процесів формування якісних та кількісних характеристик підземних вод України під впливом техногенних факторів, пов'язаних з водозаборами підземних вод, Чорнобильською катастрофою тощо;
- виявлення та оцінка ролі швидких шляхів фільтрації та міграції у формуванні підземних вод;
- вивчення автореабілітаційних властивостей геологічного середовища забруднених територій;
- дослідження закономірностей формування деяких типів мінеральних вод, їх класифікаційних відмінностей.

Основні прикладні результати наукової діяльності В.М. Шестопалова полягають у:

- регіональному вивченні гідрогеологічних умов України, створенні різномасштабних гідрогеологічних карт як основи для пошукових та екологічних досліджень;

- впровадженні в практику нових уявлень про закономірності формування та територіальний розподіл природних ресурсів підземних вод, придатних для водопостачання, а також обґрунтуванні перспективних можливостей забезпечення потреб населення України якісними підземними водами;

- виконанні оцінки прогностичних експлуатаційних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод;

- проведенні якісної та кількісної оцінки умов та характеристик регіонального та локального забруднення (в тому числі радіоактивного) підземних вод та геологічного середовища;

- впровадженні сучасних методів та технологій з метою надійного прогнозування стану якості та ступеня виснаження підземних вод, розробці контрзаходів з ефективного їх захисту;

- обґрунтуванні напрямів робіт з екологічної реабілітації гірничодобувних регіонів;

- оцінці впливу на довкілля об'єктів атомної енергетики;

- розробці та впровадженні методик з пошуку, розвідки та обґрунтування ділянок, перспективних для ізоляції радіоактивних відходів у надрах.

Результати проведених комплексних фундаментальних, методичних та регіональних досліджень слугують науковим підґрунтям для вирішення практичних задач з водопостачання населення та раціонального водокористування, а також з поліпшення екологічного стану в країні.

На повну силу наукові та науково-організаційні здібності В'ячеслава Михайловича розгорнулися у 1986 р. після Чорнобильської аварії. В перші дні після аварії в Академії наук УРСР був створений штаб – Оперативна комісія Президіуму АН УРСР на чолі з віце-президентом АН УРСР В.І. Трефіловим, а також відповідні комісії по різних напрямках боротьби з наслідками аварії, зокрема спеціальна комісія АН УРСР по

проблемах водопостачання населення, головою якої став В.М. Шестопалов.

Із великого об'єму результатів трудової діяльності важко навіть приблизно розповісти про наукову цінність польових та експериментальних робіт, теоретичні узагальнення та науково-організаційні висновки і документи, підготовлені за участю та під керівництвом ювіляра. Найбільш значущі з них такі:

- розробка «Першочергових заходів з організації водопостачання на території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС»;

- створення першої регіональної моделі та перший прогноз забруднення підземних вод Київської області;

- оцінка ефективності фільтруючих та переливних дамб на малих річках в зоні найбільшого забруднення;

- створення першої концепції функціонування чорнобильської зони відчуження;

- висновок про недоцільність та ризики у зв'язку з планами будівництва Кримської АЕС.

Роботи, проведені Оперативною комісією, актуальні і зараз. За її рекомендаціями тільки у Київській та Житомирській областях пробурено 570 артезіанських свердловин, які використовуються для водопостачання, прокладено 810 км водоводів, споруджено фільтруючі та «глухі» дамби. Варто згадати, що сучасне бюветне водопостачання Києва, яким сьогодні користуються тисячі киян, почалося з буріння десятків аварійних свердловин, запропонованих Оперативною комісією. На жаль, окремі рекомендації, зокрема щодо збільшення частки підземних вод у водопостачанні Києва та ряду інших міст, не реалізовані й досі.

Після Чорнобильської катастрофи В.М. Шестопалов досліджував проблеми розповсюдження чорнобильських радіонуклідів у геологічному середовищі, моделювання міграції радіонуклідів у гідрогеологічних структурах.

Велику увагу приділяв науковець вивченню феномену швидкого проникнення в підземні води забруднювачів, зокрема радіонуклідів, тоді як згідно з існуючими раніше уявленнями про міграцію речовин з підземними водами, таке було б неможливо.

Були детально охарактеризовані умови виникнення зон швидкої міграції, зв'язок їх з глибинними структурами та властивості порід морфологічних елементів ландшафтів, де спостерігаються такі явища. На основі цих експериментів та узагальнень вперше була створена методика оцінки захищеності підземних вод від забруднень з урахуванням зон швидкої вертикальної міграції та побудована карта захищеності підземних вод Київської області.

Впродовж багатьох років В.М. Шестопалов із колегами цікавився проблемами мінеральних вод – картуванням розповсюдження їх різновидів, вивченням окремих типів, зокрема мінеральних вод типу «Нафтуся», розробкою першої української класифікації мінеральних вод, в якій обґрунтовується виділення нових типів мінеральних вод. Він вперше обґрунтував і довів наявність двох областей розповсюдження мінеральних вод типу «Нафтуся» – Карпатської і Подільської.

Як академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України вчений активно займався науково-організаційною діяльністю, розробкою та вдосконаленням програм наукових досліджень, їх координацією та перевіркою виконання, організацією між-дисциплінарних досліджень тощо.

В якості голови спеціалізованої вченої ради по захисту докторських та кандидатських дисертацій із наукових спеціальностей «гідрогеологія» та «інженерна геологія» В.М. Шестопалов сприяв професійному зростанню українських фахівців-геологів. Під його керівництвом було підготовлено 9 докторів та 25 кандидатів наук.

Своє 80-річчя академік НАН України В'ячеслав Михайлович Шестопалов зустрічає у колі однодумців та друзів, повний творчих сил та нових наукових ідей, спрямованих на благо української науки.

*Редколегія
«Геологічного журналу»*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

У «Геологічному журналі» висвітлюються нові дані геологічної науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати досліджень корисних копалин, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо. Розглядаються об'єкти України та інших країн, якщо вони становлять загальнонауковий інтерес. Статті друкуються українською, російською та англійською мовами за бажанням авторів.

Матеріали, що надходять до «Геологічного журналу», мають бути оформлені відповідно до вимог і стандартів зарубіжної аналітичної бази даних SCOPUS (<http://www.nbov.gov.ua/node/869>).

До редакції подавати паперову копію статті та рисунків (два примірники), шрифт 11 pt через 1,5 інтервали. Роздруковка має бути підписана всіма авторами. Крім того, слід надавати електронну версію статті, оформлену в редакторі Microsoft **Word** у форматі **DOC**, шрифт Times New Roman (розмір 11 pt, а для таблиць – 9 pt). Текст не архівувати. Рисунки представляти у форматі **TIF**.

Статті супроводжувати листом з місця роботи авторів (в якому надана гарантія оплати витрат по виданню публікації та повідомляється розрахунковий рахунок), витягом із засідання відділу з рекомендацією статті до друку, актом експертної комісії.

Структура статті така: вступ, теоретично-методична частина, обговорення результатів, висновки. Обсяг статті повинен не перевищувати 15 сторінок через 1,5 інтервали (разом з таблицями, списком літератури / references, підтекстовками до рисунків, українським, російським і англійським резюме). Рисунків – не більше 4. Таблиці, рисунки, підтекстовки, список літератури / references друкувати на окремих сторінках. Назви таблиць, рисунків і підтекстовок до них набирати мовою оригіналу, а також англійською. У статтях використовувати тільки одиниці системи **SI**.

Список літератури / References складається в алфавітному порядку. Під одним пунктом літератури подається описання джерела спочатку мовою оригіналу (згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Загальні вимоги та правила складання»), а під ним (без повторення номера пункту літератури) – англійською (відповідно до вимог зарубіжної аналітичної бази даних SCOPUS). Якщо джерело англійською мовою, то його треба описати під одним номером літератури двічі. Вказувати всіх авторів, не скорочуючи до трьох. В тексті посилання на джерела набирати в квадратних дужках, подаючи прізвище автора і через кому – рік видання (якщо два автора, то набирати обох; якщо три і більше, то вказувати першого та ін. і через кому – рік видання). Кількість джерел – 10-25. Вказувати індекс **doi** (за наявності).

Стаття має бути оформлена за такою схемою:

Індекс УДК статті – у верхній частині сторінки від лівого поля (нежирним прямим).

Назва статті мовою оригіналу – у верхній частині сторінки по центру (великими літерами прямим напівжирним).

Ініціали та прізвища авторів – по центру (прямим жирним)

Нижче – ким рекомендовано (10 pt курсив нежирний).

Ще нижче – повна назва організацій та їх знаходження (місто, країна), E-mail (11 pt курсив нежирний).

Ще нижче – вчений ступінь, вчене звання, посада всіх авторів (11 pt курсив нежирний).

Через 1 інтервал по ширині:

Резюме та ключові слова мовою оригіналу (10 pt прямим нежирним).

Через 1 інтервал по ширині:

Англійською мовою – та сама інформація в тій самій послідовності: заголовок; автори; ким рекомендовано; назва організацій та їх адреса (всі значущі слова набирати з великої літери), E-mail; вчений ступінь, вчене звання, посада; резюме (за обсягом може бути більше, ніж резюме національною мовою – 100-250 слів; оптимальний варіант – стисле повторення структури статті) та ключові слова.

Через 1 інтервал по ширині:

Російською мовою (або українською, якщо стаття російською мовою) – та сама інформація в тій самій послідовності: заголовок; автори; ким рекомендовано; назва організацій та їх адреса, E-mail; вчений ступінь, вчене звання, посада.

Авторський знак © – останній рядок на першій сторінці (10 pt прямим нежирним).

З нової сторінки від лівого поля:

Повний текст статті мовою оригіналу (11 pt через 1,5 інтервали прямим нежирним).

Наприкінці тексту статті – подяки.

З нової сторінки від лівого поля:

Список літератури / References (10 pt через 1,5 інтервали).

Після літератури до правого поля набрати дату надходження статті (10 pt через 1,5 інтервали прямим нежирним).

Автори відповідають за точність викладених фактів, цитат, бібліографічних довідок, написання географічних назв, власних імен.

Статті, оформлені не за вказаними правилами, прийматися до розгляду не будуть.

ПОМИЛКА

У «Геологічному журналі» № 1 (354), 2016 р. у статті Н.К. Парамонові, Г.І. Голуб, І.М. Запольського, О.І. Логвиненко, Ю.О. Негоди «Вплив коливання рівня ґрунтових вод на формування залишкових та защемлених легких нафтопродуктів» з технічних причин допущено помилки. На с. 122, ліва колонка, другий рядок знизу треба читати так: h_{ow} ; права колонка, п'ятий рядок зверху треба читати так: $\theta_w^{aw} < \theta_w^{ow}$.