



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 * № 4 (357)

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)

ЛЯЛКО 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)

ЩЕРБАК 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 12.09.2016. Підписано до друку 29.11.2016. Формат 60x84/8. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 21,0. Тираж 410 прим. Зам. № 37. 2016.



ЗМІСТ

<i>Ищенко І.І., Лещух Р.Й., Якушин Л.М.</i> Стратиграфія крейдових відкладів Рівнинного Криму. Стаття 2. Верхня крейда	7
<i>Коваленко В.А.</i> Прісноводні молюски (GASTROPODA, PULMONATA, LYMNAEIDAE) в меотичних відкладах півдня України	19
<i>Грінченко О.В., Бондаренко С.М., Сидорчук В.С.</i> Типізація гранітоїдних утворень та їх рудоносність	27
<i>Артеменко Г.В., Бородиня Б.В., Стеценко М.Е.</i> Геохімічні особливості метабазитів Павлівської та Зеленогайської зеленокам'яних структур Східного Приазов'я (Український щит)	37
<i>Побережський А.В., Бучинська І.В., Явний П.М., Шевчук О.М.</i> Викиднебезпечність пісковиків Тяглівського родовища Південно-Західного вугленосного району Львівсько-Волинського басейну	53
<i>Семенюк В.Г.</i> Впровадження приповерхневих методів досліджень з метою вивчення геолого-геохімічних особливостей Зеленогайської площі та одноіменної імпактної структури	65
<i>Ситніков А.Б.</i> Розробка емпірико-аналітичної формули випаровування (конденсації) води з ропи Східного лікувального басейну Сакського озера	77
<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 3. Теоретична база розрахунку трифлюїдної системи «повітря – легкі нафтопродукти – вода» у пористому середовищі	87
<i>Парамонова Н.К., Гамшеєва І.С., Запольський І.М.</i> Теоретична база розрахунку флюїдних систем у забрудненому легкими нафтопродуктами геологічному середовищі у процесі коливання рівня ґрунтових вод. Стаття 4. Порядок розрахунку та аналізу флюїдних систем у забрудненому легкими нафтопродуктами геологічному середовищі у процесі коливання рівня ґрунтових вод	103
Із історії науки	
<i>Шаталов М.М.</i> Видатний стратиграф та палеонтолог ЛЕОНІД СІГІЗМУНДОВИЧ ЛІБРОВИЧ (До 125-річчя від дня народження)	115
Втрати науки	
<i>Пам'яті ОЛЕКСІЯ ІЛЛІЧА САХАЦЬКОГО</i>	119



СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ищенко И.И., Лещух Р.И., Якушин Л.Н.</i> Стратиграфия меловых отложений Равнинного Крима. Статья 2. Верхний мел	7
<i>Коваленко В.А.</i> Пресноводные моллюски (GASTROPODA, PULMONATA, LYMNÆIDAE) в мезотических отложениях юга Украины	19
<i>Гринченко А.В., Бондаренко С.Н., Сидорчук В.С.</i> Типизация гранитоидных образований и их рудоносность	27
<i>Артеменко Г.В., Бородыня Б.В., Стеценко М.Е.</i> Геохимические особенности метабазитов Павловской и Зеленогайской зеленокаменных структур Восточного Приазовья (Украинский щит)	37
<i>Побережский А.В., Бучинская И.В., Явный П.М., Шевчук Е.М.</i> Выбросоопасность песчаников Тягловского месторождения Юго-Западного угленосного района Львовско-Волынского бассейна	53
<i>Семенюк В.Г.</i> Внедрение приповерхностных методов исследований с целью изучения геолого-геохимических особенностей Зеленогайской площади и одноименной импактной структуры	65
<i>Ситников А.Б.</i> Разработка эмпирико-аналитической формулы испарения (конденсации) воды из рапы Восточного лечебного бассейна Сакского озера ...	77
<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 3. Теоретическая база расчета трехфлюидной системы «воздух – легкие нефтепродукты – вода» в пористой среде	87
<i>Парамонова Н.К., Гамшеева И.С., Запольский И.Н.</i> Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод. Статья 4. Порядок расчета и анализа флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод	103
Из истории науки	
<i>Шаталов Н.Н.</i> Выдающийся стратиграф и палеонтолог ЛЕОНИД СИГИЗМУНДОВИЧ ЛИБРОВИЧ (К 125-летию со дня рождения)	115
Утраты науки	
<i>Памяти АЛЕКСЕЯ ИЛЬИЧА САХАЦКОГО</i>	119



CONTENTS

<i>Ishchenko I.I., Leschukh R.I., Yakushin L.M.</i> Stratigraphy of cretaceous sediments in the Plain Crimea. Paper 2. Upper cretaceous	7
<i>Kovalenko V.A.</i> The freshwater mollusks (GASTROPODA, PULMONATA, LYMNÆIDAE) in the Meotian sediments of the southern Ukraine	19
<i>Grinchenko O.V., Bondarenko S.M., Sydoruk V.S.</i> Typification of granitic formations and their ore content	27
<i>Artemenko G.V., Borodynya B.V., Stezenko M.E.</i> Geochemical features of metabasite of Pavlovka and Zeleniy Gay greenstone structure of Eastern Azov (Ukrainian shield)	37
<i>Poberezhskyy A.V., Buchynska I.V., Yavny P.M., Shevchuk O.M.</i> Outburst hazard of sandstones of the Tyagliv field of the South-Western coal region of the Lviv-Volyn basin	53
<i>Semenuk V.G.</i> Implementation of subsurface investigation methods on Zelenogayska impact crater in order to study its geological and geochemical features	65
<i>Sitnikov A.B.</i> The development of empiric-analytical formula for water evaporation (condensation) from brine of the Eastern remedial basin of Saky lake	77
<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 3. Theoretical foundation for calculation of "air – light petroleum products – water" three-phase systems in porous media	87
<i>Paramonova N.K., Gamsheyeva I.S., Zapolskiy I.N.</i> Theoretical foundation for calculation of fluid systems in the subsurface contaminated with light petroleum products during groundwater fluctuation. Paper 4. Calculation and analysis of fluid systems in the subsurface contaminated with light petroleum products during groundwater table fluctuations	103
From the History of Science	
<i>Shatalov N.N.</i> The great stratigrapher and paleontologist LEONID SIGIZMUNDOVICH LIBROVICH (On the 125-years from Birthday)	115
Losses of Science	
<i>In memory</i> OLEKSIY ILLICH SAKHATSKIY	119

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.

СТРАТИГРАФІЯ КРЕЙДОВИХ ВІДКЛАДІВ РІВНИННОГО КРИМУ

Стаття 2. Верхня крейда

І.І. Іщенко¹, Р.Й. Лещух², Л.М. Якушин³

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук М.М. Іваніком)

¹ *Центр нафтогазогеологічних досліджень НДІ нафтогазової промисловості, Вишневе, Київська область, Україна, E-mail: ischenko@naukanaftogaz.kiev.ua
Кандидат геологічних наук, головний науковий співробітник.*

² *Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна,
E-mail: paleontolzbirnyk@ukr.net*

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач кафедри історичної геології та палеонтології.

³ *Центр нафтогазогеологічних досліджень НДІ нафтогазової промисловості, Вишневе, Київська область, Україна, E-mail: yakushin@naukanaftogaz.kiev.ua
Доктор геологічних наук, доцент, завідувач відділу.*

Спираючись на детальну обробку, ревізію та критичний аналіз усіх наявних матеріалів з палеонтології, стратиграфії і літології верхньокрейдових відкладів Рівнинного Криму, проведено їх розчленування і кореляцію. В результаті структурно-фаціального районування території виділено чотири райони: Північнокримський, Центральнокримських підняттяв, Білогірський та Індольський (західний підрайон). Запропоновано схему стратиграфії верхньокрейдових відкладів цього регіону.

Ключові слова: верхньокрейдові відклади, розчленування і кореляція, структурно-фаціальне районування, регіональна стратиграфічна схема, Рівнинний Крим.

STRATIGRAPHY OF CRETACEOUS SEDIMENTS IN THE PLAIN CRIMEA

Paper 2. Upper cretaceous

I.I. Ishchenko¹, R.I. Leschukh², L.M. Yakushin³

(Recommended by doctor of geological and mineralogical sciences M.M. Ivanik)

¹ *Centre for Petroleum Geology Studies of SE «Naukanaftogaz», Vyshneve, Kyiv Oblast, Ukraine,
E-mail: ischenko@naukanaftogaz.kiev.ua
Candidate of geological sciences, principal research scientist.*

² *Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine, E-mail: paleontolzbirnyk@ukr.net
Doctor of geological and mineralogical sciences, chief of the department of historical geology and paleontology.*

³ *Centre for Petroleum Geology Studies of SE «Naukanaftogaz», Vyshneve, Kyiv Oblast, Ukraine,
E-mail: yakushin@naukanaftogaz.kiev.ua
Doctor of geological sciences, associate professor, head of sedimentary.*

Subdivision and correlation of the Upper Cretaceous sedimentary sequences within the Plain Crimea region are made applying comprehensive study, revision and critical analysis of the all available data on paleontology, stratigraphy and lithology of those sedimentary rocks. In the result of structural and facies zoning of the territory three provinces, namely the North-Crimean, the Central Crimean elevations, the Belogirskiy and the Indolskiy (Western district) ones have been distinguished. It is proposed new stratigraphic chart for the Upper Cretaceous rocks subdivision of this region.

Key words: Upper Cretaceous sedimentary rocks, subdivision and correlation, structural and facies zoning, regional stratigraphic chart, the Plain Crimea region.

СТРАТИГРАФИЯ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАВНИННОГО КРИМА

Статья 2. Верхний мел

И.И. Ищенко¹, Р.И. Лещух², Л.Н. Якушин³

(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук М.М. Иваником)

¹ *Центр нефтегазогеологических исследований НИИ нефтегазовой промышленности, Вишневое, Киевская область, Украина, E-mail: ischenko@naukanaftogaz.kiev.ua
Кандидат геологических наук, главный научный сотрудник.*

² *Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, Украина,
E-mail: paleontolzbirnyk@ukr.net
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой исторической геологии и палеонтологии.*

³ *Центр нефтегазогеологических исследований НИИ нефтегазовой промышленности, Вишневое, Киевская область, Украина, E-mail: yakushin@naukanaftogaz.kiev.ua
Доктор геологических наук, доцент, заведующий отделом.*

Опираясь на детальную обработку, ревизию и критический анализ всех имеющихся материалов по палеонтологии, стратиграфии и литологии верхнемеловых отложений Равнинного Крыма, проведено их расчленение и корреляцию. Выполнено структурно-фациальное районирование территории, выделены четыре района: Северокрымский, Центральнокрымских поднятий, Белогорский и Индольский (западный подрайон). Предложена схема стратиграфии верхнемеловых отложений этого региона.

Ключевые слова: верхнемеловые отложения, расчленение и корреляция, структурно-фациальное районирование, региональная стратиграфическая схема, Равнинный Крым.

Вступ

У геологічній будові осадового чохла Рівнинного Криму верхньокрейдоді відклади відіграють важливу роль. Через доволі значні глибини залягання вони й досі залишаються слабо дослідженими. Незважаючи на доволі тривалу історію дослідження, даних про характер залягання та будову цих відкладів на сьогодні недостатньо. Фауністична характеристика верхньокрейдоді відкладів території за керівними викопними організмами (малакофауна, форамініфери) ґрунтується на поодиноких визначеннях. Усе це ускладнює вирішення питання структурно-фаціального районування території, кореляції одновікових утворень, побудови кондиційних місцевих та регіональної стратиграфічних схем, а також палеогеографічних реконструкцій пізньокрейдоді морського басейну.

Мета цієї роботи – стратиграфія верхньокрейдоді відкладів Рівнинного Криму та створення стратиграфічної схеми цих утворень.

Матеріал та методика досліджень

Матеріалом для написання даної роботи слугували всі наявні у нас дані з палеонтології, стратиграфії та літології верхньокрейдоді відкладів території Рівнинного Криму, що ґрунтувалися на результатах буріння 303 нафтогазових свердловин по 85 площах, щорічних звітів тресту «Кримнафтогазрозвідка», тематичних звітів Львівського відділення УкрДГРІ та ВНДГНІ, інших друкованих та фондоді матеріалах. За біостратиграфічну основу досліджень взяті палеонтологічні визначення відносного геологічного віку порід ядерного матеріалу з розрізів свердловин території дослідження, проведені співробітниками Львівського відділення УкрДГРІ, Інституту геологічних наук НАН України та ін.

Для розчленування означених відкладів у розрізах глибоких свердловин Рівнинного Криму та їх кореляції використано сучасні вітчизняні («ГеоПоиск») та іноземні (Petrel, компанії Schlumberger) програмні пакети по обробці та інтерпретації сейсмічних та геолого-геофізичних матеріалів, геофізична основа (каротаж) з урахуванням існуючих структурних побудов по відкладах верхньокрейдоді, а також палеонтологічні визначення відносного геологічного віку порід.

У роботі за північну межу території дослідження прийнято границю між Східноєв-

ропейською платформою та Скіфською плитою за матеріалами [Тектоніка..., 1959; Гурський, Круглов, 2007 та ін.].

Методи дослідження: геофізичний, палеонтологічний, біостратиграфічний, літологічний, літостратиграфічний, сейсмостратиграфічний та геологічного моделювання.

Обговорення результатів

Незважаючи на понад 60-річну історію дослідження, верхньокрейдоді відклади Рівнинного Криму залишаються маловивченими, що відображено у незначній кількості публікацій [Волошина и др., 1973; Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013 та ін.]. Суттєвий внесок у розуміння геологічної будови цих утворень та їх стратифікацію зробили О.Т. Богаєць, С.М. Захарчук, Л.Г. Плахотний, В.Г. Бондаренко, Л.Ф. Плотнікова, Р.Й. Лещух, Г.М. Волошина, Л.М. Проснякова, Л.В. Голубнича, О.Ю. Камеєцький, Н.І. Черняк, В.Є. Железняк, М.Д. Менкес, Н.А. Савицька, Р.А. Коваленко та ін.

Провідна роль у дослідженні верхньокрейдоді відкладів належала тресту «Кримнафтогазрозвідка», а також УкрНДГРІ, ІГН НАН України та ВНДГНІ.

Геологічна будова верхньокрейдоді товщі Рівнинного Криму зумовлена накладанням субширотної тектонічної зональності, яка панувала у пізньокрейдоді-неогеновий час, на складнопобудований структурний план ранньокрейдоді етапу розвитку території, що відображає значною мірою будову фундаменту [Лычагин, 1958; Богаєць, 1973 та ін.].

Виявлені та уточнені особливості геологічної будови верхньокрейдоді відкладів території дослідження слугували основою для структурно-фаціального районування території.

Структурно-фаціальне районування території. За характерними рисами геологічної будови верхньокрейдоді відкладів на території дослідження нами виділено чотири структурно-фаціальні райони (СФР): Північнокримський, Центральнокримських піднятів, Індольський (західний підрайон) та Білогірський (рис. 1).

Північнокримський СФР займає територію однойменного прогину. Тут верхньокрейдоді відклади поширені суцільно і представлені нормально-морськими, зрідка вулканогенними відкладами сеноманського, туронського, коньякського, сантонського, кампанського та

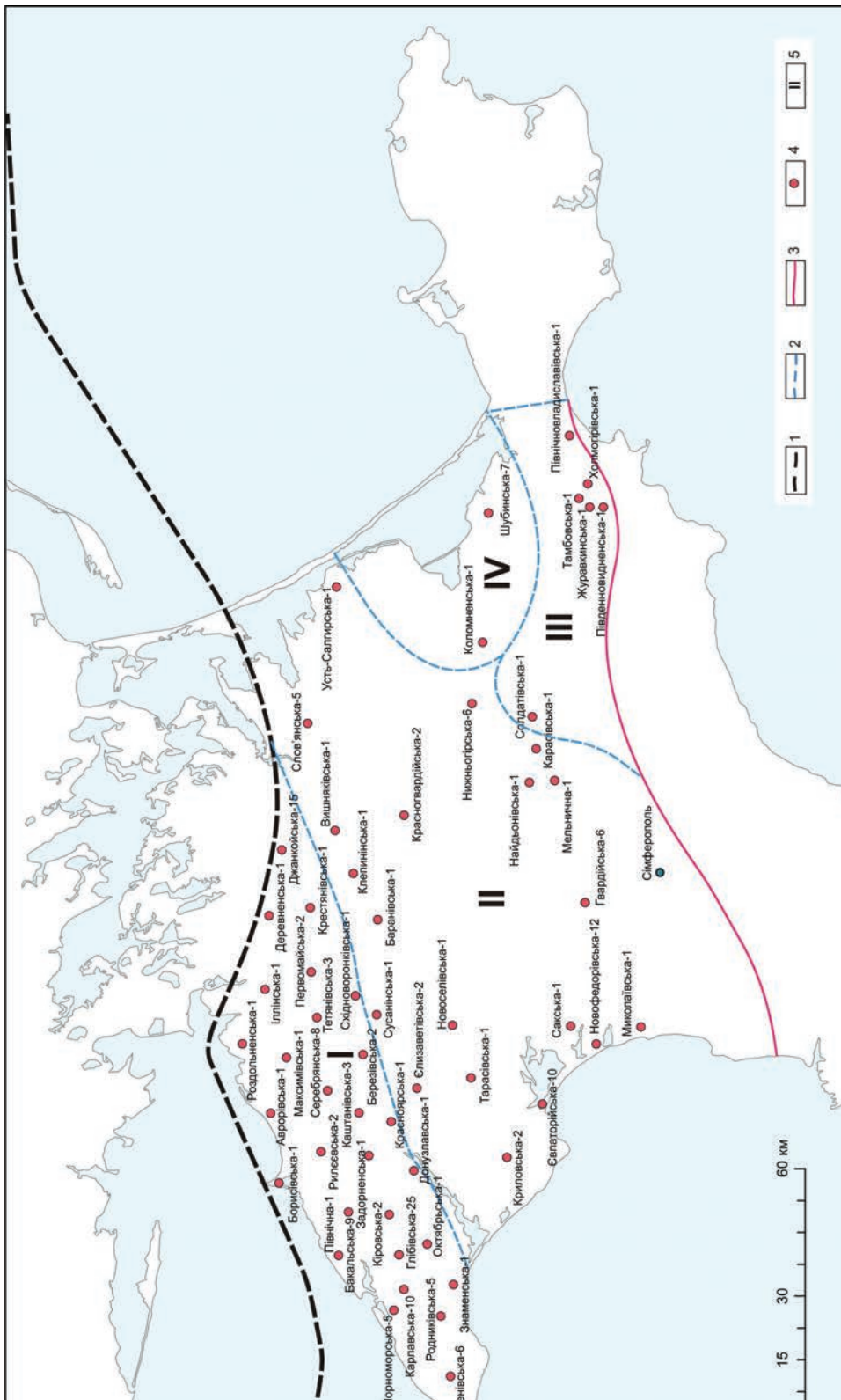


Рис. 1. Структурно-фаціальне районування верхньокрейдових відкладів території Рівнинного Криму

1 – границя між Східноєвропейською платформою та Скіфською плитою; 2 – межі структурно-фаціальних районів; 3 – північна границя Кримської складчастої споруди; 4 – опорні свердловини; 5 – структурно-фаціальні райони: I – Північнокримський, II – Центральнокримських підняттяв, III – Білогірський та IV – Індольський (західний підрайон)

Fig. 1. Structurally facies zoning of the upper Cretaceous deposits of the Plain Crimea

1 – the boundary between the East European platform and Scythian plate; 2 – the boundaries of structural-facies areas; 3 – the Northern boundary of the Crimean fold structures; 4 – anchor well; 5 – structural-facies areas: I – North-Crimean, II – Central Crimean elevations, III – Belogorsky, IV – Indulsky (Western district)

маастрихтського ярусів. Верхньокрейдові відклади згідно залягають на утвореннях нижньої крейди і перекриваються з розмивом відкладами палеогену чи неогену. Розкрита товщина відкладів верхньої крейди від 1340 м на Каштанівській площі до 2481 м в осьовій частині прогину на Оленівській площі.

СФР Центральнокримських підняттяв знаходиться на території однойменної зони підняттяв у складі Саксько-Сімферопольського виступу, Альминської западини, Сімферопольського, Новоселівського і Новоцаринського підняттяв та Нижньогірської сідловини. Тут верхньокрейдові відклади поширені майже суцільно, за винятком апікальної частини Новоселівського підняття, де вони відсутні і представлені прибережно-морськими і морськими відкладами сеноманського, туронського, коньякського, сантонського, кампанського та маастрихтського ярусів. Верхньокрейдові відклади згідно чи з переривом залягають на утвореннях нижньої крейди і перекриваються з розмивом відкладами палеогену чи неогену. Розкрита товщина відкладів верхньої крейди від 0 м в апікальній частині Новоселівського підняття до 1220 м на Сусанінській площі.

Білогірський СФР розташований на території однойменного прогину та південної частини Гончарівсько-Шубинської зони підняттяв. Тут верхньокрейдові відклади поширені майже суцільно і представлені морськими відкладами кампанського та маастрихтського ярусів. Верхньокрейдові відклади з переривом залягають на утвореннях нижньої крейди і перекриваються з розмивом відкладами палеогену чи неогену. Розкрита товщина відкладів верхньої крейди від 377 м на Тамбовській площі до 550 м на Видненській площі.

Індольський СФР (західний підрайон) займає територію західної частини однойменного прогину та північну частину Гончарівсько-Шубинської зони підняттяв. Тут верхньокрейдові відклади поширені суцільно, за винятком північної частини Гончарівсько-Шубинської зони підняттяв, де вони відсутні і представлені морськими відкладами сантонського, кампанського та маастрихтського ярусів. Верхньокрейдові відклади з переривом залягають на утвореннях нижньої крейди і перекриваються з розмивом відкладами палеогену чи неогену. Розкрита товщина відкладів верхньої крейди від 0 м у північній частині Гончарів-

сько-Шубинської зони підняттяв до 384 м на Коломенській площі.

В літологічному відношенні розрізи верхньої крейди досить однорідні. Вони представлені одноманітною карбонатною товщею, складеною переважно вапняками та мергелями. Літологічні переходи між ними найчастіше бувають настільки поступовими, що проведення границь між ярусами, під'ярусами, регіональними чи місцевими стратиграфічними підрозділами можливе лише на геофізичній (каротаж) основі за регіональними реперами, з використанням палеонтологічних визначень відносного геологічного віку.

Біостратиграфії верхньої крейди Рівнинного Криму впродовж тривалого часу не приділялося достатньої уваги; межі ярусів проведені досить умовно, зони за макрофауною не виділялися. До останнього часу з верхньокрейдових утворень території дослідження монографічно не було вивчено жодного представника малакофауни – гастропод, пелеципод, амонітів, наутилоїдей, белемнітів та ін. Із зібраної нами колекції моллюсків з верхньої крейди Рівнинного Криму вдалося визначити частину решток пізньокрейдової біоти, яка характерна для сеноманського та маастрихтського ярусів цього відділу [Лещух та ін., 2011; Лещух, Іщенко, 2012]. Це сприяло більш детальній стратифікації верхньокрейдових утворень.

Найбільш повні відомості про стратиграфію верхньокрейдових відкладів території Рівнинного Криму ми знаходимо у стратиграфічних схемах 1993 р. [Стратиграфические..., 1993], 2013 р. [Стратиграфия..., 2013] та колективній монографії за редакцією П.Ф. Гожика [Стратиграфия..., 2013].

КРЕЙДОВА СИСТЕМА ВЕРХНІЙ ВІДДІЛ

Відклади верхнього відділу крейдової системи широко розвинені на досліджуваній території. Вони представлені утвореннями сеноманського, туронського, коньякського, сантонського, кампанського та маастрихтського ярусів. Верхньокрейдові відклади складені карбонатними утвореннями (вапняки, мергелі та писальна крейда) з підпорядкованим значенням глинистих (аргіліти та глини), теригенних (алевроліти, піски, пісковики, конгломерати, брекчії та гравеліти), вулканогенно-уламкових (туфи, туфіти та туфопісковики) та кременистих (опоки та спонгіоліти).

Товщина верхньокрейдових відкладів території змінюється від 0 м на Шубинській площі (північна частина Гончарівсько-Шубинської зони підняття) до 2481 м на Оленівській площі (Північнокримський прогин).

Сеноманський ярус. Відклади ярусу на території Рівнинного Криму дуже розповсюджені і розкриті свердловинами в межах СФР Північнокримського та Центральнокримських підняття (рис. 1). На території Білогірського та Індольського СФР вони відсутні. Утворення сеноману представлені мергелями та вапняками з прошарками алевролітів, спонгіолітів та вулканогенно-уламкових порід. Товщина відкладів ярусу змінюється від 0 до 520 м на Серебрянській площі.

Сеноманський вік відкладів підтверджено за форамініферами: *Rotalipora appenninica* (Renz.), *Rotalipora cushmani* Morr., *R. deecke* (Franke). [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Проснякова, 1967; Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013], молюсками: *Aucellina* cf. *gryphaeoides* Sow., *Syncyclonema* cf. *orbicularis* (Sow.), *Inoceramus tenuis* Mant., *Neohibolites ultimus* Orb., *Parahibolites tourtia* (Weign.), *Inoceramus pictus* Sow., *In. crispus* Mant., *In. scalprum* Bohm., *Turrillites costatus* Lam. [Лещух та ін., 2011; Лещух, Іщенко, 2012].

Попередніми дослідженнями [Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013] до сеноманського ярусу в Рівнинному Криму відносяться середня і верхня підсвіти краснополянської світи та верхня підсвіта привольненської світи, товща мергелів з туфами, пачка вапнистих глин та пачка конгломерато-гравелітів.

Аналіз усіх наявних палеонтологічних визначень відносного геологічного віку зі зразків керн розрізів свердловин досліджуваної території з використанням геофізичних методів дослідження дозволив виділити відклади сеноманського ярусу, розчленувати їх на три під'яруси та скорелювати в межах досліджуваної території.

Сеноманські утворення на території Рівнинного Криму представлені двома літологічними пачками: нижньою, мергельною з фауною раннього сеноману; та верхньою, вапняковою з фауною середнього і пізнього сеноману.

Утворення нижньої літологічної пачки пропонується виділяти у складі джанкойської світи. **Джанкойська світа** виділяється вперше, назва від однойменного міста в Криму. Типовий розріз – св. Рилевська-1, інтервал

глибин 3398-3485 м. Світа поширена на території Рівнинного Криму, складена мергелями глинистими, алевритистими з прошарками глинистих вапняків, спонгіолітів, аргілітів та алевролітів, місцями вулканогенно-уламкових порід з *Rotalipora appenninica* (Renz.), *Neohibolites ultimus* Orb., *Inoceramus tenuis* Mant., *In. scalprum* Bohm., *In. crispus* Mant. Охарактеризована форамініферами: *Rotalipora appenninica* (Renz.) та молюсками: *Neohibolites ultimus* Orb., *Inoceramus tenuis* Mant., *In. scalprum* Bohm., *In. crispus* Mant. Залягає з переривом на альбських чи більш давніх відкладах та незгідно перекривається утвореннями серебрянської світи.

Розкрита товщина відкладів світи – до 520 м.

Датована раннім сеноманом за форамініферами та молюсками.

Утворення верхньої літологічної пачки пропонується виділяти у складі серебрянської світи. **Серебрянська світа** виділяється вперше, назва від с. Серебрянка Роздольненського району (Крим). Типовий розріз – св. Рилевська-1, інтервал глибин 3139-3398 м. Світа поширена на території Рівнинного Криму, складена вапняками глинистими органогенними з прошарками глинистих мергелів з *Rotalipora cushmani* Morr., *R. reicheli* Morn., *R. deecke* (Franke), *Inoceramus pictus* Sow. Охарактеризована форамініферами: *Rotalipora cushmani* Morr., *R. reicheli* Morn., *Rotalipora cushmani* Morr., *R. deecke* (Franke) та молюсками: *Inoceramus pictus* Sow. Залягає незгідно на утвореннях джанкойської світи та з переривом перекривається утвореннями борисівської світи чи більш молодими.

Розкрита товщина відкладів світи – до 405 м.

Датована середнім-пізнім сеноманом за форамініферами та молюсками.

Туронський ярус. Відклади ярусу на території Рівнинного Криму широко розповсюджені і розкриті свердловинами в межах двох СФР: Північнокримського та Центральнокримських підняття (північна частина) (рис. 1). На території Білогірського та Індольського (західний підрайон) СФР вони відсутні. Утворення турону представлені пітонеловими, пітонелово-форамініферовими та форамініферовими вапняками з прошарками глинистих вапняків та органогенних мергелів. Товщина утворень ярусу змінюється від 0 до 481 м на Карлавській площі.

Туронський вік відкладів підтверджено за форамініферами: *Gavelinella moniliformis* (Rss.), *G. ammonoides* (Reuss.), *G. kelleri* Mjatl., *G. praeinfrasantonica* (Mjatl.) [Волошина і др., 1973; Богаец и др., 1972; Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013].

Попередніми дослідженнями [Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013] до туронського ярусу в Рівнинному Криму належать нижня частина наташинської і знам'янської світи, нижня підсвіта північноарабатської світи, нижня частина турон-коньякської пачки білої крейди, нижня частина сеноман-ранньотуронської пачки вапнистих глин та нижня частина сеноман-ранньотуронської пачки конгломерато-гравелітів.

Аналіз усіх наявних палеонтологічних визначень відносного геологічного віку зі зразків керн розрізів свердловин досліджуваної території з використанням геофізичних методів дослідження дозволив виділити відклади туронського ярусу, розчленувати їх на три під'яруси та скорелювати в межах досліджуваної території.

Туронські відклади цієї території пропонується виділяти у складі борисівської світи. **Борисівська світа**, назва від структури в Північнокримському прогині Роздольненського району (Крим). Стратотип – розріз св. Борисівська-3, інтервал глибин 3172-3521 м. Світа складається з трьох підсвіт: нижня, до 110 м, складена в основі глинистими мергелями, вище світло-сірими до білих вапняками пітонеловими чи форамініферовими з прошарками вапняків слабоглинистих з *Gavelinella ammonoides* (Reuss.); середня, до 170 м, – світло-сірими до білих пітонеловими вапняками з прошарками органогенно-детритових пітонелово-форамініферових вапняків та писальної крейди з *Gavelinella moniliformis* (Rss.); та верхня, до 220 м, – світло-сірими до білих пітонеловими вапняками з прошарками органогенно-детритових пітонелово-форамініферових вапняків, вапняків тонкозернистих з фауною та писальної крейди з *Gavelinella kelleri* Mjatl., *G. praeinfrasantonica* (Mjatl.). Залягає з переривом на відкладі серебрянської світи та згідно перекривається утвореннями оленівської світи.

Товщина утворень світи – до 500 м.

Коньякський ярус. Відклади ярусу на території Рівнинного Криму широко розповсюджені і розкриті свердловинами на тери-

торії двох СФР: Північнокримського та Центральнокримських підняття (північна частина) (рис. 1). В межах Білогірського та Індольського (західний підрайон) СФР вони відсутні. Утворення коньяку представлені пітонеловими, пітонелово-форамініферовими та форамініферовими вапняками з прошарками глинистих окремених вапняків. Товщина утворень ярусу змінюється від 0 до 864 м на Оленівській площі.

Коньякський вік відкладів підтверджено за форамініферами: *Stensioeina granulata* Olb., *St. exculpta* Olb., *Gavelinella thalmani* Brotz., *Dicarinella concavata* (Brotz.) та ін. [Волошина і др., 1973; Богаец и др., 1972; Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013].

Попередніми дослідженнями [Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013] до коньякського ярусу в Рівнинному Криму відносяться верхні частини наташинської та знам'янської світи, нижня підсвіта північноарабатської світи, верхня частина пачки білої крейди та середня частина товщі парцеляноподібних вапняків.

Аналіз усіх наявних палеонтологічних визначень відносного геологічного віку зі зразків керн розрізів свердловин досліджуваної території з використанням геофізичних методів дослідження дозволив виділити відклади коньякського ярусу, розчленувати їх на три під'яруси та скорелювати в межах досліджуваної території.

Коньякські відклади на території Рівнинного Криму пропонується виділяти у складі оленівської світи. **Оленівська світа** виділяється вперше, назва від с. Оленівка Чорноморського району (Крим). Стратотип – розріз св. Борисівська-3, інтервал глибин 2727-3172 м. Світа поширена на території Рівнинного Криму, складається з трьох підсвіт: нижня, до 170 м, складена у підшві глинистими мергелями, вище світло-сірими до білих вапняками пітонеловими чи форамініферовими з прошарками вапняків слабоглинистих з *Stensioeina granulata* Olb.; середня, до 315 м, – світло-сірими до білих пітонеловими вапняками з прошарками органогенно-детритових пітонелово-форамініферових вапняків і писальної крейди з *Stensioeina granulata* Olb., *Gavelinella thalmani* Brotz.; та верхня, до 385 м, – світло-сірими до білих пітонеловими вапняками з прошарками органогенно-детритових пітонелово-форамініферових вапня-

ків, вапняків тонкозернистих з фауною та пясальної крейди з *Stensioeina exculpta* Olb., *Gavelinella thalmani* Brotz., *Dicarinella concavata* (Brotz.). Залягає згідно на відкладах борисівської світи та згідно перекривається утвореннями семенівської світи.

Товщина утворень світи – до 870 м.

Сантонський ярус. Відклади ярусу на території Рівнинного Криму дуже поширені і розкриті свердловинами в межах двох СФР: Північнокримського та Центральнокримських підняттяв (північна частина) (рис. 1). На території Білогірського та Індольського (західний підрайон) СФР вони відсутні. Утворення сантонського віку представлені світло-сірими до білих пітонеловими, пітонелово-форамініферовими та форамініферовими вапняками з прошарками глинистих пелітоморфних вапняків та мергелів органогенно-детритових, рідше – піщано-алевритових у верхній частині розрізу. Товщина утворень ярусу змінюється від 0 до 257 м на Максимівській площі.

Сантонський вік відкладів підтверджено за форамініферами: *Gavelinella infrasantonica* (Balakhm.), *G. stelligera* (Marie), *Stensioeina exculpta* Olb., *Dicarinella concavata* (Brotz.) та ін. [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013].

Попередніми дослідженнями [Геология..., 1984; Стратиграфія..., 2013] до сантонського ярусу в Рівнинному Криму належать нижні частини наташинської та знам'янської світ, нижня підсвіта північноарабатської світи, воронківська товща, нижня частина альмінської товщі, верхня частина товщі парцеляноподібних вапняків.

Аналіз усіх наявних палеонтологічних визначень відносного геологічного віку зі зразків керн розрізів свердловин досліджуваної території з використанням геофізичних методів дослідження дозволив виділити відклади сантонського ярусу, розчленувати їх на нижній та верхній під'яруси та скорелювати в межах досліджуваної території. Середньосантонські відклади в розрізах свердловин не встановлені. В цей час на території Півдня України панує континентальний режим розвитку.

Відклади нижнього сантону пропонується виділяти у складі семенівської світи. **Семенівська світа**, назва від с. Семенівка Першотравневого району (Крим). Стратотип – розріз св. Тетянівська-3, інтервал глибин 2628-2757 м. Світа поширена на території Рівнин-

ного Криму, складена вапняками світло-сірими до білих пелітоморфними з фауною, вапняками слабоглинистими, вапняками пітонеловими та вапняками органогенно-детритовими, форамініферово-пітонеловими з прошарками вапняків глинистих з пітонелами. Охарактеризована форамініферами: *Stensioeina exculpta* Olb., *Dicarinella concavata* (Brotz.) [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Стратиграфія..., 2013]. Залягає згідно на відкладах оленівської світи, перекривається з переривом відкладами максимівської світи.

Товщина відкладів світи – до 180 м.

Датована раннім сантоном за форамініферами.

Відклади верхнього сантону пропонується виділяти у складі максимівської світи.

Максимівська світа, назва від с. Максимівка Роздольненського району (Крим). Стратотип – розріз св. Тетянівська-3, інтервал глибин 2526-2628 м. Світа поширена на території Рівнинного Криму, складена вапняками світло-сірими до білих, пітонеловими та органогенно-детритовими мергелями з прошарками органогенно-детритових пітонелово-форамініферових вапняків, вапняків тонкозернистих з фауною та піщано-алевритистих мергелів. Охарактеризована форамініферами: *Gavelinella infrasantonica* (Balakhm.), *G. stelligera* (Marie) [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Стратиграфія..., 2013]. Залягає незгідно на відкладах семенівської світи, перекривається з переривом відкладами салгирської світи.

Товщина відкладів світи – до 125 м.

Кампанський ярус. Відклади ярусу в межах Рівнинного Криму широко розповсюджені і розкриті свердловинами на території всіх СФР: Північнокримського, Центральнокримських підняттяв, Білогірського та Індольського (західний підрайон) (рис. 1). Утворення кампанського віку представлені різноманітними вапняками з прошарками органогенно-детритових мергелів. Товщина утворень ярусу змінюється від 0 м в осьовій частині Новоселівського підняття до 618 м на Матвіївській площі.

Кампанський вік відкладів підтверджено за форамініферами: *Cibicidoides temirensis* (Vass.), *Globotruncana ventricosa* (White), *Brotzenella monterelensis* (Marie), *Globotruncanita elevata* (Brotzen), *Bolivinooides decoratus* (Jones.), *Textularia dentata* (Alth.), *Plectina ru-*

thenica Rss., *Bolivina incrassata* (Rss.), *Globorotalites emdyensis* (Vass.), *Brotzenella menneri* (Kell.). [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Геология..., 1984; Стратиграфия..., 2013].

Попередніми дослідженнями [Геология..., 1984; Стратиграфия..., 2013] до кампанського ярусу в Рівнинному Криму належать павлівська світа, середня підсвіта північноарабатської світи, нижня частина слов'янської товщі, середня підтовща альмінської товщі, нижня частина товщі світлих вапняків з прошарками глин, нижня частина товщі мергелів з прошарками вапняків та алевролітів, нижня частина товщі перешарування ясно-сірих вапняків і мергелів [Стратиграфия..., 2013].

Аналіз усіх наявних палеонтологічних визначень відносного геологічного віку зі зразків керн розрізів свердловин досліджуваної території з використанням геофізичних методів дослідження дозволив виділити відклади кампанського ярусу, розчленувати їх на середній та верхній під'яруси та скорелювати в межах території дослідження. Нижньокампанські відклади в розрізах свердловин досліджуваної території не встановлені.

Кампанські відклади території Рівнинного Криму пропонується виділяти у складі салгирської світи. **Салгирська світа** виділяється вперше, назва від р. Салгир на території Криму. Стратотип – розріз св. Борисівська-3, інтервал глибин 2265-2566 м. Світа поширена на території Рівнинного Криму та Індольського прогину, складена вапняками світло-сірими до білих пелітоморфними з фауною та вапняками органогенно-детритовими, з прошарками вапняків пітонелових, форамініферово-пітонелових та органогенно-детритових мергелів. Охарактеризована форамініферами: *Brotzenella monterelensis* (Marie), *Br. menneri* (Kell.), *Globotruncanites elevata* (Brotzen), *Bolivina decoratus* (Jones.), *Bolivina incrassata* (Rss.), *Globorotalites emdyensis* (Vass.) [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Геология..., 1984; Стратиграфия..., 2013]. Залягає з переривом на утвореннях максимівської світи та незгідно перекривається відкладами котовської світи.

Товщина відкладів світи – до 620 м.

Датована середнім-пізнім кампаном за форамініферами.

Маастрихтський ярус. Відклади ярусу в межах Рівнинного Криму дуже розповсюджені і розкриті свердловинами на території всіх

СФР: Північнокримського, Центральнокримських підняттяв, Білогірського та Індольського (західний підрайон) (рис. 1). Утворення маастрихтського віку представлені вапняками та мергелями, що перешаровуються з алевролітами і вапнистими глинами. Товщина утворень ярусу змінюється від 0 м в осьовій частині Новоселівського підняття та на Шубинській площі до 1315 м на Бакальській площі.

Маастрихтській вік відкладів підтверджено за форамініферами: *Globotruncanites stuarti* Lapp., *Brotzenella complanata* (Rss.), *Contusotruncana contusa* (Cushm.), *Pseudotextularia elegans* Rsch., *Ps. varians* Rsch., *Coincotruncana conica* Cushm. [Волошина и др., 1973; Богаец и др., 1972; Геология..., 1984; Стратиграфия..., 2013] та молюсками: *Inoceramus regularis* Orb., *Acanthoscaphites tridens* (Knor), *Pachydiscus neubergicus* Hauer, *Belemnella lanceolata* (Schloth.), *Inoceramus tegulata* Hag., *Belemnella arkhangelskii* Najd. [Лещух, Іщенко, 2012].

Попередніми дослідженнями [Геология..., 1984; Стратиграфия..., 2013] до маастрихтського ярусу в Рівнинному Криму відносяться верхня підсвіта північноарабатської світи, верхня частина слов'янської товщі, верхня підтовща альмінської товщі, верхня частина товщі світлих вапняків з прошарками глин, верхня частина товщі мергелів з прошарками вапняків та алевролітів, верхня частина товщі перешарування ясно-сірих вапняків і мергелів, товща темно-сірих глинистих вапняків, ділянками органогенно-детритових [Стратиграфия..., 2013].

Аналіз усіх наявних палеонтологічних визначень відносного геологічного віку зі зразків керн розрізів свердловин досліджуваної території з використанням геофізичних методів дослідження дозволив виділити відклади маастрихтського ярусу, розчленувати їх на два під'яруси та скорелювати в межах досліджуваної території.

Маастрихтські утворення на території Рівнинного Криму пропонується виділяти у складі котовської світи. **Котовська світа** виділяється вперше, назва від с. Котовське Роздольненського району Криму. Стратотип – розріз св. Борисівська-3, інтервал глибин 1946-2265 м. Світа поширена на території Рівнинного Криму та Індольського прогину, складається з двох підсвіт: нижня, до 560 м, представлена світло-сірими до білих вапняками пеліто-

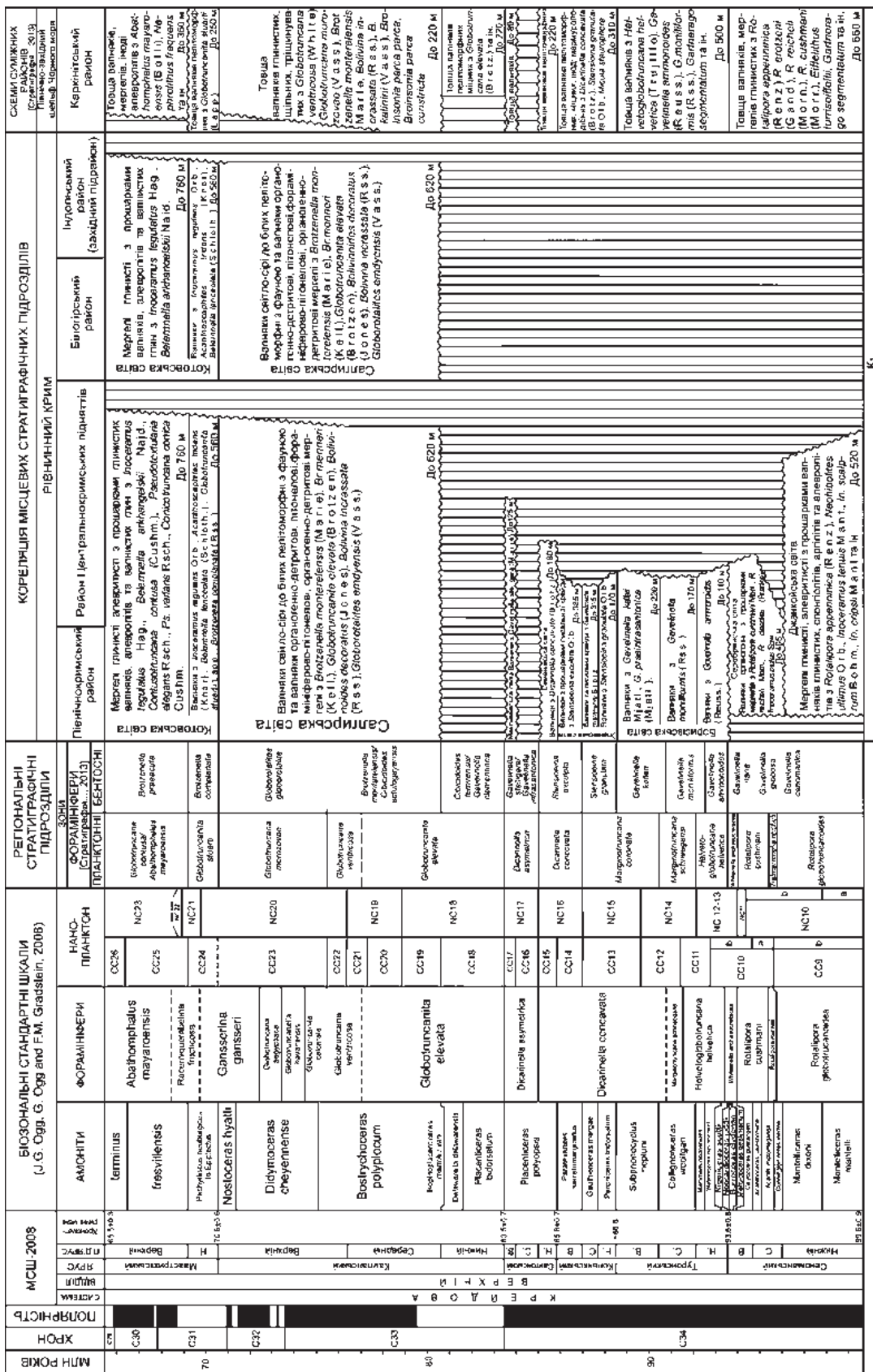


Рис. 2. Регіональна стратиграфічна схема верхньокрейдових відкладів Рівнинного Криму
 Fig. 2. Regional stratigraphic scheme of the upper Cretaceous deposits of the Plain Crimea

морфними з фауною та глинистими алевритистими мергелями, з прошарками вапняків органогенно-детритових і вапнистих глин з *Inoceramus regularis* Orb., *Acanthoscaphites tridens* (Knor), *Pachydiscus neubergicus* Hauer, *Belemnella lanceolata* (Schloth.), *Globotruncana stuarti* Lapp., *Brotzenella complanata* (Rss.); та верхня, до 756 м, що складена глинистими алевритистими мергелями з прошарками глинистими вапняків, алевролітів і вапнистих глин з *Inoceramus tegulatus* Hag., *Belemnella arkhangeliskii* Najd., *Contusotruncana contusa* (Cushm.), *Pseudotextularia elegans* Rsch., *Ps. varians* Rsch., *Conicotruncana conica* Cushm. Залягає незгідно на утвореннях салгирської світи та з переривом перекривається палеогеновими утвореннями.

Товщина відкладів світи – до 1320 м.

Датована маастрихтом за молюсками і форамініферами.

За результатами проведених досліджень побудовано регіональну стратиграфічну схему верхньокрейдових відкладів Рівнинного Криму (рис. 2).

Висновки

Літологічна подібність верхньокрейдових відкладів території Рівнинного Криму, незначний відбір керна матеріалу та недостатня його палеонтологічна вивченість значно ускладнюють використання літо- та біостратиграфічних методів дослідження при розчленуванні і кореляції осадових товщ та виділення регіональних і місцевих стратиграфічних підрозділів. Тому головним методом стає геофізичний

(каротаж), з широким застосуванням регіональних реперів, з підпорядкованим значенням палеонтологічного, літо- та біостратиграфічного тощо. Використаний комплекс методів дав змогу розчленувати верхньокрейдові відклади до під'ярусу включно та скорелювати на території дослідження.

За характерними рисами геологічної будови верхньокрейдових відкладів у межах Рівнинного Криму виділено чотири СФР: Північнокримський, Центральнокримських підняття, Білогірський та Індольський (західний підрайон).

Утворення верхнього відділу крейдової системи широко розповсюджені в Рівнинному Криму та виділяються у складі сеноманського, туронського, коньякського, сантонського, кампанського і маастрихтського ярусів. Вони представлені вапняками та мергелями з підпорядкованим значенням писальної крейди, алевролітів, пісковиків, глин і вулканогенно-осадових утворень. Верхньокрейдові відклади згідно або з переривом залягають на утвореннях нижньої крейди та перекриваються з переривом відкладами палеогену.

Розкрита товщина верхньокрейдових утворень – до 2490 м.

Пропонується вперше виділяти ранньосеноманські відклади у складі джанкойської світи, середньо-пізньосеноманські – сріблянської світи, туронські – борисівської світи, коньякські – оленівської світи, ранньосантонські – семенівської світи, пізньосантонські – максимівської світи, кампанські – салгирської світи та маастрихтські – котовської світи.

Список літератури / References

1. Бондаренко В.Г., Коваленко Р.А. Нефтегазоносность верхнемеловых трещиноватых отложений на северо-западе Крыма. *Геология нефти и газа*. 1977. № 6. С. 48-53.

Bondarenko V.G., Kovalenko R.A., 1977. Petroleum potential of the Upper Cretaceous fractured sediments in the north-west of the Crimea. *Geologiya nefi i gaza*, № 6, p. 48-53 (in Russian).

2. Богаец А.Т. Структуры меловых и палеогеновых отложений Равнинного Крыма и Присивашья. *Геотектоника*. 1973. № 1. С. 104-112.

Bogaets A.T., 1973. Structures of the Cretaceous and Palaeogene sediments of the Plain Crimea and Sivash. *Geotektonika*, № 1, p. 104-112 (in Russian).

3. Богаец А.Т., Проснякова Л.В., Самарская Е.В. Новые данные о верхнемеловых отложениях центральной и западной частей Равнинного Крыма. В кн.: *Новые данные по геологии и палеогеографии УССР*. Киев, 1972. 123 с.

Bogaets A.T., Prosnyakova L.V., Samarskaya E.V., 1972. A new data on the Upper Cretaceous sediments of the central and western parts of the Plain Crimea. In.: *New data on the geology and paleogeography USSR*. Kiev, 123 p. (in Russian).

4. Богаец А.Т., Шестопал А.В. Некоторые особенности осадконакопления верхнемеловых и палеогеновых отложений Равнинного Крыма. *Геология и геохимия горючих ископаемых*. 1981. Вып. 57. С. 12-18.

Bogaets A.T., Shestopal A.B., 1981. Some features deposit formation of Upper Cretaceous and Palaeogene sediments of the Plain Crimea. *Geologiya i geokhimiya goruchikh iskopaemykh*, iss. 57, p. 12-18 (in Russian).

5. Волошина А.М. Восемь видов атаксофрагмиид (фораминиферы) из верхнемеловых и палеогеновых отложений Восточного Крыма. *Палеонтол. сб.* 1967. № 4, вып. 1. С. 107-110.

Voloshina A.M., 1967. Eight kinds of Ataxophragmiide (foraminifera) from the Upper Cretaceous and Paleocene deposits of the Eastern Crimea. *Paleontologicheskii sbornik*, № 4, iss. 1, p. 107-110 (in Russian).

6. Волошина А.М., Денега Б.И., Орлова-Турчина Г.А. Результаты бурения параметрических скважин в Равнинном Крыму. В кн.: *Новые данные о геологическом строении и нефтегазоносности юга УССР по материалам региональных геолого-геофизических работ*. Львов: УкрНИГРИ, 1973. С. 50-97.

Voloshina, A.M. Denega B.I., Orlova-Turchina G.A., 1973. Results of parametric drilling wells in the Plain Crimea. In: *New data on the geology and petroleum potential of the south Ukrainian SSR based on regional geological and geophysical works*. Lvov: UkrNIGRI, p. 50-97 (in Russian).

7. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережье Черного моря) / отв. ред. Ю.В. Тесленко. Киев: Наук. думка, 1984. 184 с.

Geology of the USSR shelf. Volume Stratigraphy (shelf and the Black Sea coast). (Executive editor Yu.V. Teslenko). Kiev: Naukova Dumka, 1984, 184 p. (in Russian).

8. Григорьева В.А., Каменецкий А.Е., Павлюк М.И. Фациальные особенности и перспективы нефтегазоносности меловых отложений юга Украины. Киев: Наук. думка, 1981. 140 с.

Grigorieva V.A., Kamenetsky A.E., Pavlyuk M.I., 1981. Facial features and petroleum potential of the Cretaceous deposits in the south of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 140 p. (in Russian).

9. Каменецкий А.Е. Верхнемеловые отложения Степного Крыма: *Материалы по геологии и нефтегазоносности юга СССР*. Москва: Госгеолтехиздат, 1958. Вып. 38. С. 38-48.

Kamenetsky A.E., 1958. Upper Cretaceous deposits of the Plain Crimea: *Materials of geology and petroleum of south USSR*. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1958, iss. 38, p. 38-48 (in Russian).

10. Лещух Р., Зуб О., Ищенко І. Перші знахідки головоногих молюсків у пограничних верствах нижньої і верхньої крейди Рівнинного Криму. *Палеонтол. сб.* 2011. № 43. С. 46-55.

Leschukh R., Zyb O., Ishchenko I., 2011. The first finds cephalopods in the boundary layers of Lower and Upper Cretaceous of the Plain Crimea. *Paleontologicheskii sbornik*, № 43, p. 46-55 (in Ukrainian).

11. Лещух Р.Й., Ищенко І.І. Проблеми біостратиграфічного розчленування та кореляції верхньокрейдових відкладів Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної області. *Геолог України*. 2012. № 4. С. 93-97.

Leschukh R.I., Ishchenko I.I., 2012. Problems of biostratigraphic dismemberment and correlation of Upper Cretaceous deposits of the Peri-Black Sea-Crimean petroleum region. *Geolog Ukrainy*, № 4, p. 93-97 (in Ukrainian).

12. Лычагин Г.П. Геологическое строение и история развития равнинной части Крыма. В кн.: *Некоторые данные по стратиграфии, литологии, тектонике, нефтегазоносности и промышленной*

геохимии Украины и Кавказа. Ленинград: Гостоптехиздат, 1958. С. 186-191. (Тр. ВНИГНИ; Вып. 12).

Lychagin G.P., 1958. Geological structure and history of plain part of the Crimea. In: *Some data of stratigraphy, lithology, tectonics, petroleum, geochemistry of Ukraine and the Caucasus*. Leningrad: Gostoptekhizdat, p. 186-191. (Trudy VNIGNI; Iss. 12) (in Russian).

13. Плотнікова Л.Ф. Крейдові відклади центральної частини Альмінської западини (за даними дослідження свердловини Миколаївська-1). В кн.: *Біостратиграфічні основи побудови стратиграфічних схем фанерозою України: Зб. наук. пр. ІГН НАН України*. Київ, 2008. С. 99-100.

Plotnikova L.F., 2008. Cretaceous sediments of the central part of Alma depression (according to research well Mykolaiv-1). In: *Biostratigraphic bases of Phanerozoic stratigraphic schemes of Ukraine: Scientific Papers IGS NAS of Ukraine*. Kyiv, p. 99-100 (in Ukrainian).

14. Проснякова Л.В. Планктонные фораминиферы из K_{2sm} Равнинного Крыма. *Палеонтол. сб.* 1967. Вып. 2, № 4. С. 3-9.

Prosnyakova L.V., 1967. Planktonic foraminifera from K_{2sm} of the Plain Crimea. *Paleontologicheskii sbornik*, iss. 2, № 4, p. 3-9 (in Russian).

15. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у 2 т. Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / гол. ред. П.Ф. Гожик. Київ: Логос, 2013. 637 с.

Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine: in 2 vol. Vol. 1. Stratigraphy of Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. (Editor-in-Chief P.F. Gozhik). Kyiv: Logos, 2013, 637 p. (in Ukrainian).

16. Тектоніка території Української РСР та Молдавської РСР. Пояснювальна записка до Тектонічної карти Української РСР і Молдавської РСР. М-б 1:750 000 / за ред. В.Г. Бондарчука. Київ: Видво АН УРСР, 1959. С. 128-149.

Tectonics territory of the Ukrainian SSR and the Moldavian SSR. Explanatory note to the Tectonic map of the Ukrainian SSR and the Moldavian SSR. Scale of 1:750,000. (Ed. V.G. Bondarchuk). Kyiv: Vydavnytstvo AN URSR, 1959, p. 128-149 (in Ukrainian).

17. Тектонічна карта України. Ч. 1 / відп. вик. Д.С. Гурський, С.С. Круглов. Київ, 2007. С. 52-58.

Tectonic Map of Ukraine. Part 1. (Answer performers D.S. Gursky, S.S. Kruglov). Kyiv, 2007, p. 52-58 (in Ukrainian).

18. Чекунов А.В., Веселов А.А., Гилькман А.И. Геологическое строение и история развития Причерноморского прогиба. Киев: Наук. думка, 1976. 163 с.

Chekunov A.V., Veselov A.A., Gilkman A.I., 1976. Geological structure and history of development of the Peri-Black Sea sub-basin. Kiev: Naukova Dumka, 163 p. (in Russian).

Стаття надійшла
15.01.2015

ПРЕСНОВОДНЫЕ МОЛЛЮСКИ (GASTROPODA, PULMONATA, LYMNAEIDAE) В МЭОТИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮГА УКРАИНЫ

В.А. Коваленко

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

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: kovostr@mail.ru
Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.

Обобщены данные по распространению мэотических пресноводных легочных моллюсков семейства Lymnaeidae на юге Украины. Из нижнемэотических (Центральное Причерноморье) и верхнемэотических (Керченский полуостров) отложений юга Украины выделено 15 видов лимней, относящихся к одному роду (*Lymnaea* Lamarck, 1771), шести под родам (*Lymnaea* s. str.; *Stagnicola* Leach, 1830; *Omphiscola* Rafinesque, 1819; *Radix* Montfort, 1810; *Peregriana* Servain, 1881; *Galba* Schranck, 1803), девяти секциям (*Lymnaea* s. str.; *Berlaniana* Kruglov et Starobogatov, 1985; *Stagnicola* s. str.; *Radix* s. str.; *Iraniradix* Kruglov et Starobogatov, 1989; *Cyphideana* Servain, 1881; *Ampullaceana* Servain, 1881; *Bouchardiana* Servain, 1881; *Galba* s. str.).

Из верхнемэотических отложений Керченского полуострова описан новый подвид под рода *Omphiscola Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov.

На данный момент установлено, что в ниже- и верхнемэотических отложениях юга Украины отмечено подавляющее преобладание преимущественно «современных», ныне живущих видов лимней, в то время как в нижнемэотических породах, помимо «современных» видов лимней, отмечается характерный вид *Lymnaea (Omphiscola) maeotica* Kovalenko, 1990, а в верхнемэотических – новый подвид под рода *Omphiscola – Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov.

Наличие в нижнемэотических породах характерного вида *Lymnaea (Omphiscola) maeotica* Kovalenko, 1990, а в верхнемэотических – нового подвида под рода *Omphiscola – Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. позволяет разделять ниже- и верхнемэотические отложения континентальной части разреза мэотиса юга Украины.

Ключевые слова: Lymnaeidae, комплекс, мэотис, миоцен, стратиграфия, юг Украины.

THE FRESHWATER MOLLUSKS (GASTROPODA, PULMONATA, LYMNAEIDAE) IN THE MEOTIAN SEDIMENTS OF THE SOUTHERN UKRAINE

V.A. Kovalenko

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

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: kovostr@mail.ru
Candidate of geological-mineralogical sciences, senior researcher.

The species distribution data of the Meotian freshwater air-breathing mollusks of family Lymnaeidae at the Southern Ukraine are generalized. 15 types of *Lymnaea* belonging to the same genus (*Lymnaea* Lamarck, 1771), six subgenera (*Lymnaea* s. str.; *Stagnicola* Leach, 1830; *Omphiscola* Rafinesque, 1819; *Radix* Montfort, 1810; *Peregriana* Servain, 1881; *Galba* Schranck, 1803), nine sections (*Lymnaea* s. str.; *Berlaniana* Kruglov et Starobogatov, 1985; *Stagnicola* s. str.; *Radix* s.

str.; *Iraniradix* Kruglov et Starobogatov, 1989; *Cyphideana* Servain, 1881; *Ampullaceana* Servain, 1881; *Bouchardiana* Servain, 1881; *Galba* s. str.) were recognized in the Lower Meotian (Central Black Sea area) and Upper Meotian (Kerch Peninsula) sediments of the Southern Ukraine.

The new subspecies of subgenera *Omphiscola* – *Lymnaea* (*Omphiscola*) *ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. is described from the Upper Meotian sediments of Kerch Peninsula.

At present it is found that the “current” species of now living *Lymnaea* predominate in the Lower and Upper Meotian sediments of the Southern Ukraine, while besides the “current” species of *Lymnaea* the distinguishing species *Lymnaea* (*Omphiscola*) *maeotica* Kovalenko, 1990, is recognized in the Lower Meotian rocks as well as the new subspecies of subgenera *Omphiscola* – *Lymnaea* (*Omphiscola*) *ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. is marked.

Presence of both the distinguishing species *Lymnaea* (*Omphiscola*) *maeotica* Kovalenko, 1990, in the Lower Meotian rocks and the new subspecies of subgenera *Omphiscola* – *Lymnaea* (*Omphiscola*) *ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. in the Upper Meotian ones allows to separate the Lower and Upper Meotian sediments from each other for the continental section of the Meotian Stage of the southern Ukraine.

Key words: Lymnaeidae, complex, Meotian Stage, Miocene, stratigraphy, Southern Ukraine.

ПРИСНОВОДНІ МОЛЮСКИ (GASTROPODA, PULMONATA, ЛЫМНАЕІДАЕ) В МЕОТИЧНИХ ВІДКЛАДАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

В.А. Коваленко

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

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: kovostr@mail.ru

Кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник.

Узагальнені дані по розповсюдженню меотичних прісноводних легеневиких молюсків родини Лымнаеідае на півдні України. З нижньомеотичних (Центральне Причорномор'я) і верхньомеотичних (Керченський півострів) відкладів визначено 15 видів лімней, що відносяться до одного роду (*Lymnaea* Lamarck, 1771), шістьох підродів (*Lymnaea* s. str.; *Stagnicola* Leach, 1830; *Omphiscola* Rafinesque, 1819; *Radix* Montfort, 1810; *Peregriana* Servain, 1881; *Galba* Schranck, 1803), дев'ятьох секцій (*Lymnaea* s. str.; *Berlaniana* Kruglov et Starobogatov, 1985; *Stagnicola* s. str.; *Radix* s. str.; *Iraniradix* Kruglov et Starobogatov, 1989; *Cyphideana* Servain, 1881; *Ampullaceana* Servain, 1881; *Bouchardiana* Servain, 1881; *Galba* s. str.).

З верхньомеотичних відкладів Керченського півострова описано новий підвид підроду *Omphiscola* *Lymnaea* (*Omphiscola*) *ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov.

У нижньому та верхньому меотисі півдня України на сучасному етапі досліджень відмічається суттєва перевага виключно «сучасних», тобто нині розповсюджених видів лімней. У той же час у нижньомеотичних відкладах, крім згаданих вище видів лімней, присутній характерний для нижнього меотису вид *Lymnaea* (*Omphiscola*) *maeotica* Kovalenko, 1990, а у верхньомеотичних – новий підвид підроду *Omphiscola* – *Lymnaea* (*Omphiscola*) *ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov.

Наявність у нижньомеотичних відкладах характерного виду *Lymnaea* (*Omphiscola*) *maeotica* Kovalenko, 1990, а у верхньомеотичних нового підвиду підроду *Omphiscola* – *Lymnaea* (*Omphiscola*) *ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. дозволяє розчленити нижньо- та верхньомеотичні відклади континентальної частини розрізу меотису півдня України.

Ключові слова: Лымнаеідае, комплекс, меотис, міоцен, стратиграфія, південь України.

Вступление

Пресноводные легочные моллюски семейства Lymnaeidae изучены нами из *нижне-мэотических* отложений юга Украины (Центральное Причерноморье). В последнее время появились данные о *поздне-мэотических* лимнеидах Керченского полуострова.

Целью работы является обобщение данных по распространению ниже- и верхне-мэотических лимнеид юга Украины, а также описание нового для науки подвида подрода *Omphiscola* Rafinesque, 1819 – *Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov.

Комплексы пресноводных моллюсков семейства Lymnaeidae

В пределах Центрального Причерноморья *ранне-мэотические* Lymnaeidae были обнаружены в нижне-мэотических отложениях сел Новобогдановка и Березнеговатое Николаевской области (табл. 1).

В центре с. Новобогдановка, ниже пристани, в толще известняков мэотиса в средней их части наблюдались прослой и линзы с раздувами (до 20 см), выполненные гли-

ной серой, с примесью детрита. Отмывка породы из этих раздувов дала нам богатый комплекс континентальных моллюсков. Из пресноводных моллюсков семейства Lymnaeidae были определены – *Lymnaea (Lymnaea) roshkai* Kovalenko, 2004 [Коваленко, 2004]; *L. (Stagnicola) berlani* Bourguignat; *L. (St.) palustris* (O.F. Müller); *L. (Omphiscola) maeutica* Kovalenko, 1990 [Коваленко, 1990]; *L. (Radix) auricularia* (Linnaeus); *L. (Peregriana) lagotis* (Schranck); *L. (P.) balthica* (Linnaeus).

Местонахождение с. Березнеговатое, из которого выделен богатый комплекс пресноводных и наземных моллюсков, было кратко изучено П.Л. Осауленко [Осауленко, Осауленко-Шульга, 1936], ею же приведены списки морских моллюсков. Кроме того, обнаружен *Viviparus barboti* Sinzov, указывающий на мэотический возраст этого местонахождения и описанный детально П.Ф. Гожиком и В.А. Присяжнюком [Гожик, Присяжнюк, 1978]. В результате проведенного нами анализа ископаемого материала был расширен список пресноводных легочных моллюсков этого местонахождения.

Таблица 1. Распространение Lymnaeidae в мэотических отложениях юга Украины

Table 1. Distribution Lymnaeidae in Meotian sediments at the Southern Ukraine

Видовой состав	Центральное Причерноморье		Керченский полуостров
	с. Новобогдановка (Николаевская область)	с. Березнеговатое (Николаевская область)	с. Заветное (Яныш-Такылская мульда)
	Мэотис		
	нижний		верхний
<i>Lymnaea (Lymnaea) roshkai</i> Kovalenko, 2004	+	—	—
<i>L. (Stagnicola) berlani</i> Bourguignat, 1870	+	—	—
<i>L. (St.) palustris</i> (O.F. Müller, 1774)	+	—	—
<i>L. (Omphiscola) maeutica</i> Kovalenko, 1990	+	—	—
<i>L. (O.) ovum kertshensis</i> subsp. nov.	—	—	+
<i>L. (Radix) auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	—
<i>L. (Radix) euphratica</i> Mousson, 1874	—	+	—
<i>L. (Peregriana) monnardi</i> (Hartmann, 1841)	—	+	—
<i>L. (P.) balthica</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	—
<i>L. (P.) ovata</i> (Draparnaud, 1805)	—	+	+
<i>L. (P.) lagotis</i> (Schranck, 1803)	+	+	—
<i>L. (P.) fontinalis</i> (Studer, 1820)	—	—	+
<i>L. (P.) patula</i> (E.M. Costa, 1778)	—	—	+
<i>L. (Galba) oblonga</i> (Putton, 1847)	—	+	—
<i>L. (G.) subangulata</i> (Roffiaen, 1868)	—	+	—

Достаточно представительный комплекс пресноводных моллюсков семейства Лымнаеidae был выделен из зеленой алевроитовой глины мощностью 2-3 см, наблюдающейся в виде прослоя в песке глиняном, серо-зеленом, карбонатном мощностью 0,5 м. Это – *Lymnaea (Galba) oblonga* Putois; *L. (G.) subangulata* Roffiaen; *L. (Radix) auricularia* (Linnaeus); *L. (R.) euphratica* Mousson; *L. (Peregriana) lagotis* (Schranck); *L. (P.) balthica* (Linnaeus); *L. (P.) ovata* (Draparnaud); *L. (P.) monnardi* (Hartmann).

Позднеэотические Лымнаеidae из отложений Яныш-Такыльской мульды у с. Заветное Керченского полуострова были любезно предоставлены нам для анализа В.А. При-

сажнюком. Материал отобран из верхнеэотических отложений (переслаивание темной зеленовато-серой тонкослоистой глины – аналог слоя 3 с позднеэотическими моллюсками – *Congerina panticapea* Andrussow, *Cerastoderma arcella mithridatis* Andrussow [Куличенко, Ольштынская, 1980] (табл. 1).

В результате проведенных исследований был получен следующий комплекс лимнейд: *L. (Peregriana) patula* (E.M. Costa); *L. (P.) fontinalis* (Studer); *L. (P.) ovata* (Draparnaud), в том числе и установленный нами новый подвид подрода *Omphiscola* Rafinesque, 1819 – *L. (Omphiscola) ovum kertschensis* subsp. nov. (табл. I, II).

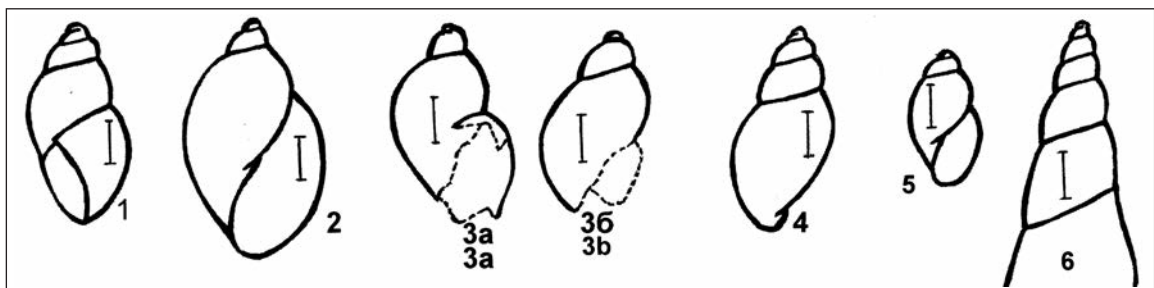


Таблица I

Table I:

Фиг. 1. *Lymnaea (Omphiscola) ukrainica* Kovalenko, 2004

(Масштабная линейка – 1 мм (г. Николаев, верхний сармат)

Fig. 1. *Lymnaea (Omphiscola) ukrainica* Kovalenko, 2004

(Dimensional scale – 1 mm (the city of Nikolaev, Upper Sarmatian)

Фиг. 2. *Lymnaea (Omphiscola) gorkai* Kovalenko, 2006

(Масштабная линейка – 1 мм (Звезжинец (Центральная Польша), нижний сармат)

Fig. 2. *Lymnaea (Omphiscola) gorkai* Kovalenko, 2006

(Dimensional scale – 1 mm (Zvezhynets – Central Poland, Lower Sarmatian)

Фиг. 3 (а,б). *Lymnaea (Omphiscola) ovum kertschensis* Kovalenko subsp. nov. (Масштабная линейка – 1 мм (Керченский полуостров, с. Заветное, верхний мэотис), (3а – вид спереди, 3б – вид збоку)

Fig. 3 (a,b). *Lymnaea (Omphiscola) ovum kertschensis* Kovalenko subsp. nov. (Dimensional scale – 1 mm (Kerch Peninsula, the village of Zavetnoe, Upper Meotian, 3a – front view, 3b – side view)

Фиг. 4. *Lymnaea (Omphiscola) ovum* Brongniart, 1810

(Масштабная линейка – 1 мм (с. Виноградовка, Преддобруджа, нижний понт)

Fig. 4. *Lymnaea (Omphiscola) ovum* Brongniart, 1810

(Dimensional scale – 1 mm (the village of Vinogradovka, Pre-Dobruja, Lower Pontian)

Фиг. 5. *Lymnaea (Omphiscola) ukrainicaformis* Kovalenko, 2008

(Масштабная линейка – 1 мм (юг Левобережной Украины: скв. 29з, с. Менчикуры, Запорожская область, караган; скв. 32з, с. Серогозы, Херсонская область, конка)

Fig. 5. *Lymnaea (Omphiscola) ukrainicaformis* Kovalenko, 2008

(Dimensional scale – 1 mm (the south of Left-bank Ukraine, borehole of 29z, the village of Menchukury, Zaporozhia Oblast, Karagan stage; borehole of 32z, the village of Serohozy, Kherson Oblast, Konka stage)

Фиг. 6. *Lymnaea (Omphiscola) maeotica* Kovalenko, 1990

(Масштабная линейка – 1 мм (с. Новобогдановка, Николаевская область, нижний мэотис)

Fig. 6. *Lymnaea (Omphiscola) maeotica* Kovalenko, 1990

(Dimensional scale – 1 mm (the village of Novobohdanivka, Nikolaevskaia Oblast, Lower Meotian)

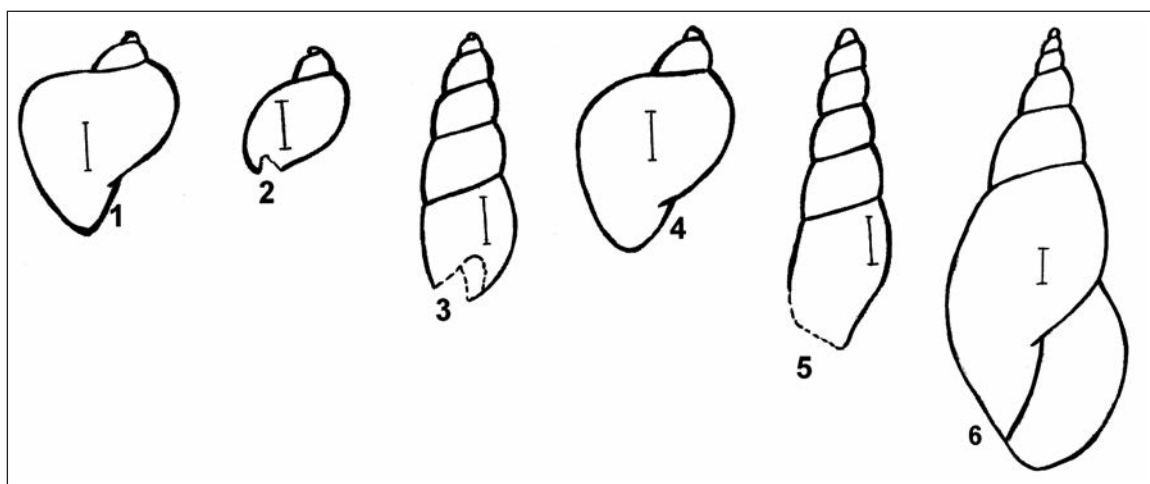


Таблица II
Table II

Фиг. 1. Lymnaea (Peregriana) patula (E.M. Costa, 1778)
(Масштабная линейка – 1 мм (Керченский полуостров – верхний мэотис))

Fig. 1. Lymnaea (Peregriana) patula (E.M. Costa, 1778)
(Dimensional scale – 1 mm (Kerch Peninsula, Upper Meotian))

Фиг. 2. Lymnaea (Peregriana) fontinalis (Studer, 1820)
(Масштабная линейка – 1 мм (Михайловский карьер, Николаевская область, средний сармат; г. Николаев (у лодочной станции, верхний сармат; Керченский полуостров, верхний мэотис; скв. 881 (г. Очаков, Николаевская область, нижний понт)))

Fig. 2. Lymnaea (Peregriana) fontinalis (Studer, 1820)
(Dimensional scale – 1 mm (Mykhailovsky quarry, Nikolaevskaia Oblast, Middle Sarmatian; the city of Nikolaev), (near the boat station), Upper Sarmatian; Kerch Peninsula, Upper Meotian; borehole of 881 (the city of Ochakov, Nikolaevskaia Oblast, Lower Pontian))

Фиг. 3. Lymnaea (Omphiscola) gozhiki Kovalenko, 1990
(Масштабная линейка – 1 мм (г. Николаев (у лодочной станции), верхний сармат))

Fig. 3. Lymnaea (Omphiscola) gozhiki Kovalenko, 1990
(Dimensional scale – 1 mm (the village of Nikolaev (near the boat station), Upper Sarmatian))

Фиг. 4. Lymnaea (Peregriana) ovata (Draparnaud, 1805)
(Масштабная линейка – 1 мм (с. Березнеговатое, Николаевская область, нижний мэотис; Керченский полуостров, верхний мэотис))

Fig. 4. Lymnaea (Peregriana) ovata (Draparnaud, 1805)
(Dimensional scale – 1 mm (the village of Bereznehovatoie, Nikolaevskaia Oblast, Lower Meotian; Kerch Peninsula, Upper Meotian))

Фиг. 5. Lymnaea (Omphiscola) prysjazhnjuki Kovalenko, 1990
(Масштабная линейка – 1 мм (Михайловский карьер, Николаевская область, средний сармат))

Fig. 5. Lymnaea (Omphiscola) prysjazhnjuki Kovalenko, 1990
(Dimensional scale – 1 mm (Mykhailovsky quarry, Nikolaevskaia Oblast, Middle Sarmatian))

Фиг. 6. Lymnaea (Lymnaea) roshkai Kovalenko, 2004
(Масштабная линейка – 1 мм (Михайловский карьер, Николаевская область, средний сармат; с. Новобогдановка, Николаевская область, верхний сармат – нижний мэотис; с. Крыжановка, Одесская область, куяльник))

Fig. 6. Lymnaea (Lymnaea) roshkai Kovalenko, 2004
(Dimensional scale – 1 mm (Mykhailovsky quarry, Nikolaevskaia Oblast, Middle Sarmatian; the village of Novobohdanivka, Nikolaevskaia Oblast, Upper Sarmatian – Lower Meotian; the village of Kryzhanovka, Odesskaia Oblast, Kuialnik stage))

«Сходство раковин подрода *Omphiscola* с раковинами некоторых видов подрода *Stagnicola* (в частности, той группы видов подрода, которая представлена в Евразии – *L. vulnerata* Küst. (= *L. occulta* Jack.), *L. terebra* West. (= *L. bolotensis* Moz.) и *L. liogyra* West.), заставляет считать подрод *Omphiscola* производным подрода *Stagnicola*» [Круглов, Старобогатов, 1981, с. 974].

Подрод *Omphiscola* включает в себя три вида – *Lymnaea (Omphiscola) clavata* (West-erlund, 1885); *L. (O.) glabra* (Müller, 1774); *L. (O.) gingivata* Gouppil, 1835 [Круглов, 2005], широко распространенных в настоящее время на территории бывшего СНГ. А из мезотических видов лимнеид юга Украины – это *Lymnaea (Omphiscola) maeotica* Kovalenko, 1990 [Коваленко, 1990] (нижний мезотис) (табл. I, фиг. 6) и *L. (O.) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. (верхний мезотис) (табл. I, фиг. 3а, 3б).

При обобщении полученных результатов нами использована систематика крупнейшего семейства моллюсков прудовиков (*Lymnaeidae* Rafinesque, 1815), представленная Н.Д. Кругловым [Круглов, 2005] на основании обобщения большого количества фактического материала (в том числе и работ Я.И. Старобогатова) по проблеме их морфологии, систематики и биологии.

Ниже приводится описание нового подвита подрода *Omphiscola* – *Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* subsp. nov.:

Класс *Gastropoda* Cuvier, 1797

Подкласс *Pulmonata* Cuvier in Blainville, 1814
ОТРЯД *LYMNAEFORMES* A. FERUSSAC, 1822
СЕМЕЙСТВО *LYMNAEIDAE* RAFINESQUE, 1815

Род *Lymnaea* Lamarck, 1799

Подрод *Omphiscola* Rafinesque, 1819

Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis
Kovalenko subsp. nov.

ЭТИМОЛОГИЯ. Название происходит от типового местонахождения – Керченский полуостров.

Г о л о т и п. Экз. № 1/2015 из отложений верхнего мезотиса Керченского полуострова (Яныш-Такыльская мульда). Хранится в отделе стратиграфии и палеонтологии кайнозойских отложений Института геологических наук НАН Украины.

Д и а г н о з. Раковина башневидная, низкая, состоящая из трех медленно нарастающих оборотов. Устьевая часть раковины повреждена, однако по величине и по очертанию начальных ее оборотов возможно с высокой степенью точности определить ее видовую принадлежность. Обороты завитка выпуклые и разделены неглубоким, косым швом. Тангент-линия раковины выгнутая. Эмбриональный ее оборот очень крупный. Последний оборот яйцевидный, крупный.

Р а з м е р ы (голотипа), мм. Ширина раковины – 5,4; высота завитка – 2,3.

С р а в н е н и е. Эта форма очень близка к *Lymnaea (Omphiscola) ovum* Brongniart (табл. I; фиг. 4) [Wenz, 1923; Sandberger, 1870-1875], от которой отличается: а) основным индексом раковины – меньше, чем у *L. (O.) ovum*; б) обороты завитка у *L. (O.) ovum kertshensis* шире, чем у *L. (O.) ovum*; в) величиной и формой эмбрионального оборота раковины – у *L. (O.) ovum kertshensis* он более крупный, чем у *L. (O.) ovum*.

От *Lymnaea (Omphiscola) ukrainica* Kovalenko, 2004 [Коваленко, 2004] (табл. I; фиг. 1) описываемый подвид отличается: а) основным индексом раковины – больше, чем у *L. (O.) ukrainica*; б) более медленным нарастанием оборотов раковины по сравнению с *L. (O.) ukrainica*.

От *Lymnaea (Omphiscola) gorkai* Kovalenko, 2006 [Присяжнюк, Коваленко, Горка и др., 2006] (табл. I; фиг. 2) – а) меньшими размерами раковины; б) основным индексом раковины (меньшей его величиной); в) величиной и формой эмбрионального оборота раковины – у *L. (O.) ovum kertshensis* он более крупный, чем у *L. (O.) gorkai*; более медленным навиванием оборотов раковины.

От *Lymnaea (Omphiscola) ukrainicaformis* Kovalenko, 2008 [Коваленко, 2008] (табл. I; фиг. 5) – основным индексом раковины (большей его величиной). Однако основное отличие сравниваемых форм состоит в резко различающихся размерах экземпляров, имеющих одинаковое число оборотов завитка, что, в принципе, невозможно для особей одного вида.

Описываемый подвид также существенно отличается от стройных, башенковидных видов лимней подрода *Omphiscola* – *Lymnaea (Omphiscola) gozhiki* Kovalenko, 1990 и

L. (O.) prysjazhnjuki Kovalenko, 1990 [Коваленко, 1990] (табл. II; фиг. 3, 5), у которых очень быстрое навивание оборотов их раковин. Отличие также и в форме эмбриональных оборотов раковин.

Р а с п р о с т р а н е н и е. Верхний мэотис Керченского полуострова.

М а т е р и а л и м е с т о н а х о ж д е н и е. Верхний мэотис (Яныш-Такыльская мульда, с. Заветное, Керченский полуостров) – 1 экз. хорошей сохранности.

Выводы

Итак, на основании изложенного выше можно утверждать следующее:

– Обобщенные данные по распространению *нижне-* и *верхнемэотических* лимней на юге Украины показывают, что в мэотических отложениях Центрального Причерноморья (нижнемэотические отложения сел Новобогдановка и Березнеговатое Николаевской области) и Керченского полуострова (верхнемэотические отложения Яныш-Такыльской мульды, с. Заветное) нами выделено 15 видов лимней, относящихся к одному роду, шести под родам, девяти секциям, а именно (табл. 1): **род** *Lymnaea* Lamarck, 1771; **подрод** *Lymnaea* s. str.; Секция *Lymnaea* s. str. – *Lymnaea (Lymnaea) roshkai* Kovalenko, 2004; **подрод** *Stagnicola* Leach, 1830; секция *Berlaniana* Kruglov et Starobogatov, 1985 – *Lymnaea (Stagnicola) berlani* Bourguignat, 1870; секция *Stagnicola* s. str. – *Lymnaea (Stagnicola) palustris* (O.F. Müller, 1774); **подрод** *Omphiscola* Rafinesque, 1819 – *Lymnaea (Omphiscola) maeutica* Kovalenko, 1990; *L. (O.) ovum kertshensis* subsp. nov.; **подрод** *Radix* Montfort, 1810; секция *Radix* s. str. – *Lymnaea (Radix) auricularia* (Linnaeus, 1758); секция *Iraniradix* Kruglov et Starobogatov, 1989 – *Lymnaea (Radix) euphratica* Mousson, 1874; **подрод** *Peregriana* Servain, 1881; секция *Cyphideana* Servain, 1881 – *Lymnaea (Pere-*

griana) monnardi (Hartmann, 1841); секция *Ampullaceana* Servain, 1881 – *Lymnaea (Peregriana) balthica* (Linnaeus, 1758); *L. (P.) ovata* (Draparnaud, 1805); секция *Bouchardiana* Servain, 1881 – *Lymnaea (Peregriana) lagotis* (Schranck, 1803); *L. (P.) fontinalis* (Studer, 1820); *L. (P.) patula* (E.M. Costa, 1778); **подрод** *Galba* Schranck, 1803; Секция *Galba* s. str. – *Lymnaea (Galba) oblonga* (Puton, 1847); *L. (G.) subangulata* (Roffiaen, 1868).

– В нижнем и верхнем мэотисе юга Украины на современном этапе исследований отмечено подавляющее преобладание исключительно «современных», ныне живущих видов лимней – *Lymnaea (Stagnicola) berlani* Bourguignat, 1870; *L. (St.) palustris* (O.F. Müller, 1774); *L. (Radix) auricularia* (Linnaeus, 1758); *L. (R.) euphratica* Mousson, 1874; *L. (Peregriana) monnardi* (Hartmann, 1841); *L. (P.) balthica* (Linnaeus, 1758); *L. (P.) ovata* (Draparnaud, 1805); *L. (P.) lagotis* (Schranck, 1803); *L. (P.) fontinalis* (Studer, 1820); *L. (P.) patula* (E.M. Costa, 1778); *L. (Galba) oblonga* (Puton, 1847); *L. (G.) subangulata* (Roffiaen, 1868). В то же время в нижнемэотических породах, помимо упомянутых выше видов лимней, отмечается характерный вид *Lymnaea (Omphiscola) maeutica* Kovalenko, 1990, а в верхнемэотических – *новый* подвид под рода *Omphiscola* – *Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. Вид *Lymnaea (Lymnaea) roshkai* Kovalenko, 2004 – более широкого стратиграфического распространения (сармат – куяльник).

– Наличие в нижнемэотических породах характерного вида *Lymnaea (Omphiscola) maeutica* Kovalenko, 1990, а в верхнемэотических – *нового* подвида под рода *Omphiscola* – *Lymnaea (Omphiscola) ovum kertshensis* Kovalenko subsp. nov. позволяет разделять *нижне-* и *верхнемэотические* отложения континентальной части разреза мэотиса юга Украины.

Список литературы / References

1. Гожик П.Ф., Присяжнюк В.А. Пресноводные и наземные моллюски миоцена Правобережной Украины. Киев: Наук. думка, 1978. 172 с.
Gozhik P.F., Prisyazhnyuk V.A., 1978. Freshwater and terrestrial molluscs of the Miocene in Right-bank of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 172 p. (in Russian).

2. Коваленко В.А. Новые виды пресноводных моллюсков (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae) из сарматского региона юга Украины. *Доп. НАН України.* 2004. № 9. С. 126-130.

Kovalenko V.A., 2004. New species of freshwater molluscs (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae) from Sarmatian regional stage of the south of

Ukraine. *Dopovidi NAN Ukrainy*, No 9, p. 126–130 (in Russian).

3. Коваленко В.А. Лимнеиды подрода *Omphiscola* неогена юга Украины. В кн.: *Палеонтологические и биостратиграфические исследования при геологической съемке на Украине*. Киев: Наук. думка, 1990. С. 114-120.

Kovalenko V.A., 1990. Lymnaeidae subgenus *Omphiscola* of the Neogene Southern Ukraine. In: *Paleontology and biostratigraphic researches at a geological survey in Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, p. 114-120 (in Russian).

4. Коваленко В.А. Лымнаеиды из местонахождения Триебина и Врачевич, Сербия. *Bulletin T. CXXVII de l'Academie serbe des sciences et des arts. Classe des sciences mathematiques et naturels*. Beograd, 2004. N 42. С. 327-339.

Kovalenko V.A., 2004. Lymnaeidae of locations and Triebina; Vrachevich, Serbia. *Bulletin T. CXXVII Serbian Academy of Sciences and Arts. Class of mathematics and science naturels*. Beograd, No 42, p. 327-339 (in Russian).

5. Коваленко В.А. Новые местонахождения пресноводных моллюсков (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae) среднего миоцена юга Левобережной Украины. В кн.: *Биостратиграфические основы побудови стратиграфических схем фанерозою Украины*. Київ, 2008. С. 220-229.

Kovalenko V.A., 2008. New localities of freshwater pulmonate mollusks (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae) from the middle Miocene of the south of Left-bank Ukraine. In: *Biostratigraphic fundamentals of creating the stratigraphic schemes of the Phanerozoic of Ukraine*. Kiev, p. 220-229 (in Russian).

6. Куличенко В.Г., Ольштынская А.П. Микрофлористическая характеристика верхнемиоценовых отложений юга Украины. *Геол. журн.*, 1980. Т. 40, № 6 (195). С. 136-140.

Kulichenko V.G., Olshytynska A.P., 1980. Microfloristic characteristics of the Upper Miocene of southern Ukraine. *Geologicheskij zhurnal*, vol. 40, N 6 (195), p. 136-140 (in Russian).

7. Круглов Н.Д., Старобогатов Я.И. Новый род лимнеид и система подрода *Omphiscola* рода *Lymnaea* (Gastropoda, Pulmonata). *Зоол. журн.* 1981. Т. 60, вып. 7. С. 965-977.

Kruglov N.D., Starobogatov Ya.I., 1981. A new genus of lymnaeids and the system of subgenus *Omphiscola* of the genus *Lymnaea* (Gastropoda, Pulmonata). *Zoologicheskij zhurnal*, vol. 60, iss 7, p. 965-977 (in Russian).

8. Круглов Н.Д. Моллюски семейства прудовиков Европы и Северной Азии. Смоленск: Изд-во СГПУ, 2005. 503 с.

Kruglov N.D., 2005. Molluscs of the family Lymnaeidae of Europe and North Asia. Smolensk: Izdatelstvo SGPU, 503 p. (in Russian).

9. Осауленко П. Меотичні відклади пониззя р. Інгульця та р. Дніпра. В кн.: *Матеріали до палеонтології і стратиграфії УРСР*. Київ, 1936. С. 35-130. (Тр. Ін-ту геології; Т. 1).

Osaulenko P., 1936. Meotic deposits of Ingulets and Dnieper rivers lower stream. In: *Materials to paleontology and stratigraphy of Ukraine*. Kyiv, p. 35-130, (Papers of Institute of Geology; Vol. 1) (in Ukrainian).

10. Осауленко-Шульга П.Л. О стратиграфии и палеонтологии меотических отложений Южной Украины. *Геол. журн.* 1936. Т. 3, вып. 4 (7). С. 123-139.

Osaulenko-Shulga P.L., 1936. On the stratigraphy and paleontology of meotic deposits of Southern Ukraine. *Geologicheskij zhurnal*, vol. 3, iss 4 (7), p. 123-139 (in Russian).

11. Присяжнюк В.А., Коваленко В.А., Горка М., Ствожевич Е. Пресноводные гастроподы (Lymnaeidae, Bulinidae, Planorbidae) сармата Звезинца (Центральная Польша). В кн.: *Проблеми палеонтології та біостратиграфії протерозою і фанерозою України*. Київ, 2006. С. 254-264.

Pryshazhnjuk V.A., Kovalenko V.A., Gorka M., Stworzhewicz E., 2006. The fresh-water gastropods from the Sarmatian (Lymnaeidae, Bulinidae, Planorbidae) of Zwierzyniec (Central Poland). In: *Paleontological and biostratigraphic problems of the Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine*. Kyiv, p. 254-264 (in Russian).

12. Wenz W. Gastropoda extramarina tertiaria. In: *Fossilium Catalogus*. Berlin, S. 1222; *Limneus ovum* Brongniart, 1810. In: *Annales. Mus. Hist. pat.* Paris XV, p. 374, tab. XXII, fig. 13A, B.

Wenz W. Gastropoda extramarina tertiaria. In: *Fossilium Catalogus*, Berlin, S. 1222; *Limneus ovum* Brongniart, 1810. In: *Annales. Mus. Hist. pat.* Paris XV, p. 374, tab. XXII, fig. 13A, B (in German).

13. Sandberger F. Die Land- und Süßwasserconchylien der Vorwelt. Wiesbaden, (*Limneus ovum* Brongn., Taf. XIV, fig. 10), 1870-1875. 872 S.

Sandberger F. Die Land- und Süßwasserconchylien der Vorwelt. Wiesbaden, (*Limneus ovum* Brongn., Taf. XIV, fig. 10), 1870-1875. 872 S (in German).

Статья поступила

11.01.2016

ТИПІЗАЦІЯ ГРАНІТОЇДНИХ УТВОРЕНЬ ТА ЇХ РУДОНОСНІСТЬ

О.В. Грінченко¹, С.М. Бондаренко², В.С. Сидорчук³

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

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», Київ, Україна, E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua
Кандидат геологічних наук, доцент.

² Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна, E-mail: sbond@igmof.gov.ua
Кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник.

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», Київ, Україна, E-mail: sydvit@gmail.com
Аспірант.

У статті надаються відомості про проблеми типізації гранітоїдних утворень та їх можливого металогенічного навантаження. Серед існуючих принципів класифікації найбільш прийнятною з погляду металогенії залишається міжнародна типізація гранітів з виділенням І- та S-типів, що була запропонована австралійськими вченими В.В. Chappell, А.Д.Р. White [Chappell, White, 2001]. Вона певним чином відповідає принципам регіональної класифікації, що була запропонована І.Б. Щербаковим [Щербаков, 2005] для типізації гранітоїдів Українського щита з виділенням апобазитової та апопелітової серій гранітів.

Згідно з класифікацією В.В. Chappell, А.Д.Р. White, орогенні граніти можуть бути розподілені на підставі складу протоліту на продукти плавлення переважно вивержених (І-тип) або осадових (S-тип) материнських порід. До гранітоїдів І-типу відносяться відміни, які змінюються за складом від тоналітів (кварц-діоритів) до гранодіоритів та характеризуються присутністю біотиту, сфену, амфіболу, клінопіроксену в якості залізо-магнезійних мінералів та магнетиту. Гранітоїдні утворення S-типу відповідають за складом різновидам від адамелітів (кварц-монзонітів) до гранітів і характеризуються присутністю мусковіту і червоно-коричневого (багатого на Ti) біотиту та зазвичай гранату, кордіериту. Акцесорні фази представлені монацитом, уранінітом та ільменітом.

Серед найважливіших параметрів, які можуть впливати на металогенічну спеціалізацію гранітоїдних комплексів, визначаються: тип гранітного протоліту; можливий тренд еволюції складу; ступінь фракціювання; стан окиснення.

Ключові слова: граніти, типізація, мінералізація.

TYPIFICATION OF GRANITIC FORMATIONS AND THEIR ORE CONTENT

O.V. Grinchenko¹, S.M. Bondarenko², V.S. Sydorчук³

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

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine, E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua
Candidate of geological-mineralogical sciences, associate professor.

² Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: sbond@igmof.gov.ua
Candidate of geological sciences, senior research scientist.

³ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine, E-mail: sydvit@gmail.com
Post-graduate student.

© О.В. Грінченко, С.М. Бондаренко, В.С. Сидорчук, 2016

This paper discusses the data on problems of typification of granitic formations and their possible metallogenic content. Among existing principles of classification the most useful as to metallogenic point of view is an international typification of granites with distinguishing I- and S-types which has been offered by Australian scientists B.W. Chappell and A.J.R. White [Chappell, White, 2001]. It definitely corresponds to the principles of regional classification proposed by I.B. Shcherbakov [Shcherbakov, 2005] for typification of granitoids of the Ukrainian Shield with distinguishing apobasitic and apopelitic suites of granites.

According to classification of B.W. Chappell, A.J.R. White, orogenic granites can be subdivided on the basis of protolytith composition into melt products of predominantly igneous (I-type) or sedimentary (S-type) parent rocks. I-type granitoids comprise varieties ranging in composition from tonalites (quartz-diorites) to granodiorites and are characterized by the presence of biotite, sphene, amphibole, clinopyroxene as iron-magnezian mineral, and magnetite. Granitic formations of S-type correspond in composition to varieties from adamellites (quartz-monzonites) to granites and are characterized by presence of muscovite and red-brown (Ti-rich) biotite and commonly garnet and cordierite. Accessory phases are presented by monazite, uraninite and ilmenite.

Among the major parameters which can influence metallogenic specialization of granitic complexes are following: type of granite protolytith; possible trend of evolution of composition; fractionation degree; oxidation state.

Key words: granites, typification, mineralization.

ТИПИЗАЦИЯ ГРАНИТОИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ИХ РУДОНОСНОСТЬ

А.В. Гринченко¹, С.Н. Бондаренко², В.С. Сидорчук³

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

¹ *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ «Институт геологии», Киев, Украина, E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua
Кандидат геологических наук, доцент.*

² *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: sbond@igmof.gov.ua
Кандидат геологических наук, старший научный сотрудник.*

³ *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ «Институт геологии», Киев, Украина, E-mail: sydvit@gmail.com
Аспирант.*

В статье приводятся сведения о проблемах типизации гранитоидных образований и их возможной металлогенической нагрузки. Среди существующих принципов классификации наиболее приемлемой с точки зрения металлогении остается международная типизация гранитов с выделением I- и S-типов, которая была предложена австралийскими учеными B.W. Chappell, A.J.R. White [Chappell, White, 2001]. Она определенным образом отвечает принципам региональной классификации, которая была предложена И.Б. Щербаковым [Щербаков, 2005] для типизации гранитоидов Украинского щита с выделением апобазитовой и апопелитовой серий гранитов.

Согласно классификации B.W. Chappell, A.J.R. White, орогенные граниты могут быть подразделены на основе состава протолита на продукты плавления преимущественно изверженных (I-тип) или осадочных (S-тип) материнских пород. К гранитоидам I-типа относятся разновидности, которые изменяются по составу от тоналитов (кварц-диоритов) до гранодиоритов и характеризуются присутствием биотита, сфена, амфибола, клинопироксена в качестве железомagneзиальных минералов и магнетита. Гранитоидные образования S-типа соответствуют по составу разновидностям от адамелитов (кварц-монзонитов) до гранитов и характеризуются присутствием мусковита и красно-коричневого (богатого на Ti) биотита и часто граната и кордиерита. Акцессорные фазы представлены монацитом, уранинитом и ильменитом.

Среди важнейших параметров, которые могут влиять на металлогеническую специализацию гранитоидных комплексов, выделяются такие: тип гранитного протолита; возможный тренд эволюции состава; степень фракционирования; состояние окисления.

Ключевые слова: граниты, типизация, минерализация.

Гранітні утворення розглядаються багатьма дослідниками як унікальні утворення Землі. Присутність їх у складі континентів істотно відрізняє Землю від інших планет Сонячної системи [Махлаев, 1999; Bonin et al., 2002]. Така ж різноманітність спостерігається і для вікових характеристик гранітів – події гранітоутворення встановлюються починаючи з раннього архею (і навіть хадею) до фанерозою. Вважається, що гранітоїди можуть формуватися у широкому діапазоні геодинамічних обстановок – від умов орогенезу (акреційно-колізійних орогенів) до внутрішньоплітних (внутрішньокорових та анорогенних) обстановок. Кислі магми можуть кристалізуватися на глибині з формуванням цілого спектра гірських порід – від натрієвих тоналітів до калієвих гранітів, а також вилитися на земну поверхню з генерацією вулканічних утворень кислого складу – від дацитів до ріолітів. Більшість гранітних утворень просторово розташована в межах континентальної кори Землі. Проте незначна кількість гранітоїдів була встановлена у складі окремих структур океанічної кори (океанічні плато), де гранітні розплави розглядаються як найбільш кінцеві продукти кристалізаційної диференціації мафітових магм. Деякі відміни кислих порід були встановлені навіть у складі офіолітових комплексів, які розглядаються в якості збережених утворень древньої океанічної кори.

Гранітоїдні магми, які просторово розташовані переважно в межах верхнього та середнього шарів континентальної кори, не можуть бути безпосередньо продуковані з перидотитової речовини верхньої мантії. Тому формування континентальної кори розглядається як процес, який відбувається у декілька стадій. На першій стадії здійснюється генерація базальтової магми при плавленні перидотитової речовини верхньої мантії. На другій – внаслідок процесів фракційної кристалізації або безпосереднього плавлення основних порід відбувається формування більш диференційованих відмін (андезитів, ріолітів та ін.), з яких переважно й складається континентальна кора Землі (валовий склад кори відповідає андезитовому – 61% Si₂O) [Hawkesworth et al., 2010]. Продукти другої стадії можуть згодом зазнавати подальшу диференціацію в ході

одного або декількох циклів «внутрішньокорового плавлення», що в кінцевому результаті призводить до формування найбільш кислих відмін порід та стабілізації (кратонізації) ділянок континентальної кори.

Незважаючи на те, що саме гранітоїди є найбільш «характерним» типом серед порід континентальної кори, питання про можливий генезис гранітних утворень все ще залишаються актуальними серед геологічних досліджень. Так, починаючи ще з публікації класичної праці Н.Н. Read «Granites and Granites» [Read, 1948], було сформульовано та все ще залишається актуальним (особливо на територіях країн, що входили до складу колишнього Радянського Союзу) уявлення про існування двох можливих процесів гранітоутворення – магматичного та метасоматичного (гранітизація) генезису гранітів.

Гіпотеза магматичного генезису гранітоїдів була вперше обґрунтована та набула широкого визнання після проведення експериментальних досліджень, які підтвердили можливість формування гранітного розплаву при процесах часткового (інконгруентного) плавлення. Ранні гіпотези формування гранітної магми, особливо для магм, які генеруються у межах кори (умови внутрішньокорового плавлення), ґрунтувалися на загальній концепції метаморфізму, відповідно до якої корові породи зазнавали послідовне занурення (поховання) зі збільшенням температури середовища гранітоутворення. Додаткове привнесення водного флюїду (модель водонасиченого плавлення) призводило до формування магматичного розплаву за рахунок зниження температури ліквідусу. Проте пізніше було встановлено, що формування гранітного розплаву може відбуватися й за відсутності вільного водного флюїду при процесах дегідративного плавлення [Patino Douce, 1999]. Відповідно до моделі дегідратаційного (безфлюїдного) плавлення, процеси вивільнення водного флюїду відбуваються при руйнуванні гідроксилвміщуючих мінералів (амфібол, біотит, мусковіт). Осадкові (переважно пелітові) породи можуть містити значну кількість гідроксилвміщуючих мінералів (до 30-50% від загального об'єму порід), які в умовах перевищення температур інконгруентного плавлення (зазвичай

~720°C та ~820°C, відповідно для мусковіту і біотиту) можуть призвести до формування значних об'ємів анатектичних гранітоїдних розплавів. Інші різновиди порід також можуть зазнавати процесів інконгруентного плавлення. Метаандезити починають плавитися в інтервалі температур від 750°C до 800°C, в той час як амфіболіти зазнають процесів плавлення на рубежі ~850°C з формуванням розплавів переважно тоналітового складу. При підвищенні температури до межі близько ~925°C (в умовах загального вичерпання більшості гідроксилвміщуючих мінералів) швидкість генерації розплаву суттєво знижується, до того ж склад магматичного розплаву більше не буде відповідати гранітному. Варто зазначити, що для можливого прояву процесів дегідратаційного плавлення вирішальна роль надається присутності гідроксилвміщуючих мінералів, дуже поширених у межах осадово-вулканогенних товщ зрілої континентальної кори.

Згідно з альтернативною концепцією, процес формування гранітоїдних розплавів може бути результатом перетворення порід океанічної кори під дією фільтруючих високотемпературних кременисто-лужних флюїдів в умовах відкритої системи. Модель «гранітизації як магматичного заміщення» у найбільш повному її вигляді була розроблена Д.С. Коржинським ще у 1952 р. Відповідно до моделі гранітизації, формування гранітоїдів відбувається при інфільтраційному впливі флюїдів, які привносять у вміщуючі породи луги, кремнезем та виносять Са, Mg, Fe, які в подальшому розсіюються або перевідкладаються далеко за межами зон гранітизації, формуючи зони базифікації. Вважається, що гранітизація відбувається при температурних параметрах 650-900°C та тисках 5-10 кбар на піковій стадії метаморфізму й на початку регресивної стадії [Ходоревская, 2004]. В той же час варто зазначити, що модель гранітизації Д.С. Коржинського й дотепер не отримала світового визнання. Практично немає переконливих даних про можливі джерела гранітизуючих флюїдів, їх вік та еволюцію складу гранітизуючих флюїдів. Слабо вивчена проблема походження базифікатів та можливого взаємозв'язку між процесами гранітизації та проявами базифікації.

Еволюційний розвиток Землі у часі, який визначався головним чином шляхом поступового зниження загального геотермального градієнта, повинен був призводити до змін геодинамічних умов та переважних процесів формування гранітів. Зміна теплових і геодинамічних умов Землі мала безпосередній вплив на тип первинної (материнської) речовини, яка зазнавала плавлення, склад похідних магматичних розплавів та інтенсивність процесів відокремлення розплавів від материнського джерела [Herzberg et al., 2010]. Так, для архейського періоду є характерним формування тоналіт-тронд'еміт-гранодіоритових (ТТГ) асоціацій. Серед різних гіпотез генезису ТТГ-асоціацій на даний час особливу популярність набула гіпотеза часткового (інконгруентного) плавлення метабазитів. Відповідно до неї, вода, яка зв'язана у водомістких мінералах океанічної кори, таких як серпентин, амфібол, хлорит, епідот, біотит та ін., вивільняється при реакціях дегідратації і, знижуючи температури плавлення порід, стимулює утворення розплаву ТТГ-складу. В подальшому може відбуватися відокремлення розплаву від тугоплавкого реститу та його підйом на верхні рівні кори з формуванням гранітоїдних масивів, або розплав може залишатися «in situ» у вигляді лейкосоми мігматитів.

Протерозойський період еволюції Землі характеризувався суттєвим зменшенням загального температурного градієнта (після границі архей – протерозой), збільшенням площі стабільних ділянок континентальної кори з накопиченням потужних осадових товщ. Процеси гранітоутворення могли відбуватися як на границях літосферних плит (стабілізованих архейських мікроконтинентів), так і в умовах внутрішньоплитних обстановок – при процесах внутрішньокорового плавлення або закладання структур розтягування рифтогенного типу. Прояви внутрішньокорового плавлення в межах континентальної кори були обумовлені проявами процесів базальтового андерплейтінгу (від англ. «underplating» – підстеляння) – накопичення продуктів плавлення мантії речовини в підшві кори. Процеси андерплейтінгу базальтів, в свою чергу, могли призводити до локального підвищення геотермального градієнта у вищезалігаючих

товщах, створення умов, сприятливих для інконгруентного плавлення за участю гідроксилвміщуючих мінералів. Вивільнення водного флюїду спричиняло процеси часткового плавлення вміщуючих осадово-вулканогенних товщ з формуванням переважно двопольовошпатових відмін гранітоїдів (калієвий тренд протерозойських гранітів) [Taylor, McLennan, 2009]. В свою чергу, на границях архейських літосферних плит (архейських мікроконтинентів) також могли проявлятися процеси гранітоутворення. Формування гранітів відбувалося при процесах латерального нарощування континентальної кори в геодинамічних умовах акреційного та колізійного орогенезу.

Різноманітність геодинамічних умов формування гранітних утворень як у просторі, так і у часі призвела до створення численних схем класифікацій. До того ж той факт, що в процесі своєї еволюції гранітна магма своєрідним чином «очищує» свій склад при процесах кристалізаційного фракціонування і відокремлення залишкових розплавів, наближаючись до загального термального мінімуму або евтектики у системі $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – KAlSi_3O_8 – SiO_2 , накладає додаткові обмеження на спроби встановлення ймовірного першоджерела та геодинамічних умов формування гранітоїдних комплексів. Проте загальне збереження деяких типоморфних мінералого-петрохімічних ознак все ж таки дає можливість проведення типізації гранітоїдних утворень та її використання при прогнозі металогенічного навантаження гранітоїдних комплексів.

Варто зазначити, що спроби класифікації гранітів Українського щита (УЩ) на підставі різноманітних петрологічних та генетичних побудов наведені в численних роботах – І.Б. Щербакова із співавторами [Щербаков и др., 1984]; К.Ю. Єсипчука [Єсипчук, 1988]; М.І. Толстого із співавторами [Толстой та ін., 2003] та ін. Деякі публікації висвітлюють питання про металогенічну спеціалізацію гранітоїдних комплексів щита [Єсипчук и др., 1990, 1993]. В той же час інформації, яка б вказувала на певні загальні особливості поведінки рудогенних елементів у різних типах гранітоїдних утворень УЩ, обмаль. Саме застосування принципів типізації кислих відмін порід для можливого

прогнозу металогенічного навантаження гранітоїдних комплексів все ще залишається актуальним питанням сьогодення.

Серед багатьох схем класифікації, що були запропоновані для гранітних порід, найбільш прийнятною з погляду металогенічного прогнозу є схема розподілу гранітів на I- та S-типи, яка була надана у роботі В.В. Chappell, A.J.R. White [Chappell, White, 2001] і певним чином відповідає класифікації з виділенням апобазитової та апопелітової серій гранітоїдів за мінералого-геохімічною типізацією І.Б. Щербакова, запропованою для гранітоїдів УЩ [Щербаков, 2005]. Відповідно до класифікації В.В. Chappell, A.J.R. White, орогенні граніти можуть бути розподілені на основі складу протоліту – продукту плавлення переважно вивержених (I-тип) або осадових (S-тип) материнських порід. Загалом, граніти I-типу відповідають за складом різновидам від тоналітів (або кварц-діоритів) до гранодіоритів, тоді як гранітоїди S-типу за складом відповідають різновидам порід від адамелітів (або кварц-монзонітів) до гранітів. Граніти I-типу мають тенденцію бути більше окисненими (високі значення фугітивності кисню $f\text{O}_2$) у порівнянні з гранітами S-типу, магми яких характеризуються переважанням відновних умов при їх формуванні завдяки присутності вуглецевої (графітової) речовини в материнських для них породах. Приблизне значення стану окиснення гранітних магм може бути отримане на підставі визначення $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ по гірській породі в цілому, яке ефективно реєструє значення співвідношення окисне/закисне залізо.

Загалом, граніти I-типу, що були сформовані з метамагматичного джерела, характеризуються присутністю залізо-магнезійних мінералів – біотиту, сфену, амфіболу, клінопіроксену та акцесорного магнетиту. За міжнародною класифікацією вони відносяться до метаглиноземистих ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < \text{Al}_2\text{O}_3 < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$) або слабо перглиноземистих утворень, є відносно натрієвими і характеризуються широким діапазоном вмісту кремнезему (56-77% SiO_2). Для гранітів S-типу, які були сформовані з осадового субстрату, характерними ознаками є присутність мусковіту і червоно-коричневого (багатого на Ti) біотиту та

зазвичай гранату, кордієриту в якості залізо-магнезійних мінералів. Акцесорні фази представлені монацитом, уранінітом та ільменітом. Ці граніти є суттєво перглиноземистими ($Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$) і відносно калієвими, з більшими значеннями вмісту кремнезему (64-77% SiO_2). В подальшому були спроби дещо вдосконалити запропоновану класифікацію шляхом розширення переліку різновидів гранітоїдів – граніти М-типу (від англ. mantle – мантійний) та А-типу (анорогенні граніти) та граніти С-типу (чарнокіти). Проте тільки граніти А-типу, які є відносно калієвими, характеризуються високими значеннями $Fe/(Fe+Mg)$ та підвищеною концентрацією високовалентних елементів – Zr, Ta-Nb, TRR (навіть до формування родовищ), набули широкої популярності у використанні поряд із раніше запропонованими різновидами гранітів І- та S-типів.

Варто зазначити, що, загалом, у докембрійській історії еволюції Землі були надійно встановлені прояви принаймні семи вікових етапів гранітоутворення (3300, 2700, 2680, 2500, 2100, 1900 и 1100 Ma), що були визначені з використанням класичних методів геохронологічного датування (метод TIMS – Thermal ionization mass spectrometry) [Condie et al., 2009]. На УЩ, загалом, виділяються принаймні три епохи/етапи гранітоутворення з віковими межами 3,0-2,6 Ga; 2,1-2,0 Ga та 1,8-1,75 Ga. Гранітоїди першої архейської епохи найбільше представлені (найбільш збережені) на території типової граніт-зеленокам'яної області Середнього Придніпров'я. Ця епоха характеризується великим поширенням натрієвих відмін гранітоїдів (плагіограніти дніпропетровського та саксаганського комплексів). Формування калієвошпатових гранітів (калієві граніти мокромосковського та токівського комплексів), відбувалося, як вважається, внаслідок переробки речовини первинних плагіогранітів [Щербаков, 2005].

Загалом, гранітоїдні утворення І-типу (апобазитова серія) зіставляються з плагіогранітними комплексами архейського віку, дуже поширеними у межах граніт-зеленокам'яних областей. Калієві відміни також трапляються в межах архейських областей, але, судячи з результатів аналізу складу

архейських осадових порід, площа їх поширення становила менше ніж 10% від площі поверхні, яка зазнала ерозії в цей час (більша частина площі поверхні була складена ТТГ-комплексами) [Taylor, McLennan, 2009].

Гранітоїдні утворення другої епохи (2,1-2,0 Ga) набули широкого поширення як у глобальному аспекті, так і в межах УЩ. Переважання калієвих відмін гранітоїдів є характерною ознакою цієї епохи гранітоутворення. Після вікової границі 2500 Ma, яка приймається в якості межі між археем та протерозоем, зміна геотермального режиму Землі (зменшення магматичної активності) та сприятливі умови накопичення потужних товщ осадових порід обумовили широке розповсюдження калієвих відмін порід (гранітоїди S-типу, апопелітова серія), які формувалися при процесах ультраметаморфічних перетворень первинно-осадових товщ.

Рапаківігранітні комплекси УЩ можуть бути віднесені до проявів третьої епохи гранітоутворення (1,8-1,75 Ga). Вважається, що формування цих гранітоїдних утворень сублужного складу могло відбуватися в анорогенних умовах при процесах взаємодії базитових розплавів мантійно-нижньокорового походження з верхньокоровою речовиною [Митрохин, 2011]. Варто зазначити, що деякі дослідники відносять породи сублужного складу до гранітоїдів А-типу, характеризуючи їх як такі, що були сформовані по безводному субстрату (anhydrous) підвищеної лужності (alkaline) анорогенні (anorogenic) утворення.

Слід також відмітити, що серед гранітоїдних утворень УЩ найбільш поширені автохтонні утворення, формування яких відбувалося при процесах ультраметаморфічних перетворень в умовах амфіболітової та гранулітової фацій метаморфізму. За класифікацією І.Б. Щербакова, серед гранітоїдних утворень ультраметаморфогенного генезису можуть бути виділені як прогресивні, так і регресивні відміни. Прогресивне гранітоутворення відбувається за умов прогресивного метаморфізму вулканогенно-осадових товщ з формуванням гранітоїдних утворень на стадії ультраметаморфічних перетворень. Тому серед прогресивних утворень можуть бути виділені не тільки апопелітові, а й апобазитові відміни, які відповідають

гранітам S- та I-типів. Можливість застосування генетичної класифікації (S- та I-типів) до гранітоїдних утворень ультраметаморфогенного генезису були обґрунтовані як у роботах закордонних [White, Chappell, 1977], так і українських дослідників [Щербаков, 2005]. В межах УЩ типовими регіонами поширення прогресивних гранітів можуть вважатися Інгульський та Волинський мегаблоки.

Регресивні граніти, як вважається, формувалися шляхом діафоринної переробки більш високометаморфізованих відмін порід в умовах зниження значень p, t -параметрів. Проте залишається відкритим питання про можливе джерело «флюсувального» компонента, необхідного для протікання процесів гранітоутворення (зниження температури ліквідусу). За уявленнями І.Б. Щербакова, формування регресивних відмін гранітів відбувається в умовах декомпресії – виходу гранулітових відмін порід на рівень амфіболітової фації. В той же час існує й альтернативна гіпотеза формування гранітів по породах, збіднених на флюсувальні компоненти – гіпотеза гранітоутворення при процесах «водного нагнітання» [Sawyer, 2010]. Регресивні відміни гранітоїдних порід найбільше представлені у межах Росинсько-Тикицького та Дністровсько-Бузького мегаблоків УЩ.

Принцип розподілу гранітів на типи (або серії) дозволяє використовувати його для встановлення можливого металогенічного навантаження гранітоїдних утворень. Серед найважливіших параметрів, які можуть суттєво впливати на металогенічну спеціалізацію гранітоїдних комплексів, визначаються такі: 1) тип гранітного протоліту (S-, I-, A-типи); 2) можливий тренд еволюції складу; 3) ступінь фракціонування; 4) стан окиснення [Blevin, Chappel, 1992]. Слід зауважити, що самі граніти здебільшого є безрудними, а рудоносними слугують утворення, які формувалися на постмагматичних стадіях еволюції гранітоїдної системи: пегматити, різноманітні метасоматити (грейзени, вторинні кварцити, пропіліти). Самі ж процеси, які призводять до накопичення промислових концентрацій корисних елементів у гранітоїдах та асоційованих з ними утвореннях, обумовлені головним чином узагальненою роллю легких компонентів і гідротермальних

розчинів, що накопичуються та активізуються на пізніх стадіях диференціації магматичної системи [Sial et al., 2011].

Було встановлено, що з серіями гранітів I-типу тісно пов'язані прояви мідної мінералізації, в той час як граніти S-типу характеризуються поширенням проявів олововольфрамової мінералізації. Переважний зв'язок оловорудних родовищ із гранітами серій S-типу був приписаний підвищеному вмісту Sn в осадових материнських породах. Приуроченість проявів мідної мінералізації до гранітів I-типу, як вважається, може бути обумовлена більш високими значеннями вмісту Cu у джерелах для цих гранітів – метаморфізованих океанічних базальтах або нижньокорових амфіболітах. Загалом, саме халькофільні елементи (Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni) мають більшу спорідненість з метабазитовим джерелом гранітоїдів I-типу. Граніти S-типу формуються при процесах анатектичних перетворень метаморфізованих первинно-осадових товщ, а успадкований підвищений вміст таких флюсувальних компонентів, як B, P і F, робить ці граніти особливо схильними до формування пегматитогенеруючих розплавів, збагачених на літофільні рідкісні і рідкісноземельні елементи (Li, Cs, Ta та ін.).

Гранітоїди різних типів характеризуються присутністю в їх складі певних типоморфних акцесоріїв. Можливість використання акцесорних оксидів (магнетиту та ільменіту) в якості мінералогічного критерію металогенічної спеціалізації гранітоїдів на певні елементи було обґрунтовано в роботах [Shihara, 2004] з виділенням магнетитових та ільменітових серій гранітів. Вищезгадані серії деякою мірою відповідають гранітам I- та S-типів за класифікацією [Chappell, White, 2001], або апобазитовим та апопелітовим гранітам за мінералого-геохімічною типізацією І.Б. Щербакова із співавторами [Щербаков и др., 1984]. Ільменітові серії гранітів, які зіставляються із гранітами S-типу, характеризуються переважанням відновних умов при їх формуванні завдяки входженню в магматичний розплав графітової речовини від первинного осадового субстрату. Граніти магнетитової серії можуть бути зіставлені з гранітами I-типу, субсольвусна природа польових шпатів яких вказує

на умови водонасиченості внаслідок їх кристалізації. Саме процеси дисоціації H_2O призводять до збагачення системи киснем, присутність якого обумовлює формування на ранніх стадіях збагаченого на залізо амфіболу та магнетиту.

В межах УЩ, у його західній та центральній частинах можуть бути виділені цілі області, що характеризуються поширенням суттєво ільменітових або магнетитових серій гранітів. Доречно відмітити, що в магнетитових гранітах досить часто присутній сингенетичний ільменіт. Натомість, в ільменітових гранітах Fe^{+2} часто входить до складу арсеніду заліза – льолінгіту $FeAs_2$. Присутність магнетиту та ільменіту в гранітах вказує на певний окисно-відновний режим формування цих гранітоїдів, що може мати важливе значення для визначення їх потенційної рудоносності та встановлення мінералого-геохімічних особливостей поведінки багатьох металів, чутливих до окисно-відновних умов середовища.

Центральноукраїнська металогенічна провінція, яка просторово тягнє до Кіровоградського орогенного поясу [Клочков та ін., 2006], визначається полями поширення рідкіснометальних гранітів та асоційованих з ними пегматитів (родовища Полохівське, Мостове, Липнязьке, Північностанкуватське, Надія та ін.). Більшість гранітних комплексів (ярошівські, полохівські, липнязькі) належать до ільменітової серії гранітів S-типу, збагачених на калій і перенасичених глиноземом. Ці граніти геохімічно спеціалізовані на Li, Rb, Cs. В мінеральному складі цих гранітів домінує ільменіт у присутності графіту та антроксоліту, що вказує на переважання відновних умов їх формування. Для більшості рідкіснометальних пегматитів світу [Cerny, Ercit, 2005] спостерігається просторова та генетична спорідненість із гранітами «седиментогенного» походження. Граніти S-типу формуються в результаті анатектичних перетворень метаморфізованих первинно-осадових товщ, а саме успадкований підвищений вміст таких флюсувальних компонентів, як B, P, і F, робить ці утворення найбільш схильними до формування пегматитгенеруючих розплавів.

Більшість гранітів I-типу, як вважається, пов'язані з проявами процесів магматизму

в зонах субдукції (на границях плит), але вони також можуть бути сформовані з продуктів метаморфічного перетворення магматичних основних порід або вулканогенно-осадових відкладів. Типові граніти I-типу є водонасиченими (вапнисто-лужний тренд), характеризуються великим поширенням проявів мінералізації кольорових металів та значною мірою позбавлені флюсувальних компонентів, а тому виявляють тенденцію до відсутності значних пегматитових ореолів навколо їх границь. У межах Волинського мегаблока до гранітів магнетитової серії I-типу можуть бути віднесені утворення осницького та фастівського комплексів. Гранітоїдні утворення осницького комплексу входять до складу єдиної вулканоплутонічної асоціації, що складається з клеєвської вулканогенної серії та осницького інтрузивного комплексу, який просторово тягнє до Поліського (Осницько-Микашевицького) орогенного поясу. З палеопротерозойськими габро-діорит-гранітними інтрузіями осницького та фастівського комплексів пов'язані рудопрояви молібдену (Віровський, Вербинський та Ярошівський), які були віднесені до утворень плутоно-гідротермального, порфірового типів [Галий и др., 2000].

Висновки

Вважалося, що можливе розходження в геодинамічних умовах формування докембрійських та фанерозойських гранітоїдів повинно було відобразитися на їх металогенічній продуктивності [Есипчук, 1988]. Разом з тим вказується на те, що між відомими типами рудних родовищ, пов'язаних із гранітоїдами докембрію та фанерозою, практично не спостерігається суттєвих відмін [Металлогения..., 1983]. В той же час нами було встановлено, що головні особливості проявів рудної мінералізації мають певний генетичний зв'язок з певними типами материнських гранітів. А поведінка рудних елементів у магнетитових та ільменітових серіях, які деякою мірою відповідають гранітам I- та S-типів або апобазитовим та апопелітовим відмінам, суттєво відрізняється. В магнетитових серіях (граніти I-типу), що мають природу бути більш окисненими (високі значення fO_2), переважає тенденція до накопичення елементів халь-

кофільної групи, а для гранітів ільменітової серії (граніти S-типу) спостерігається тенденція до формування рудопроявів та родовищ з накопиченням елементів літофільної групи (рідкісні елементи) на пізніх постмагматичних стадіях розвитку гранітоїдної системи (пегматити). Саме це дає можливість використовувати принципи типізації гранітів

для оптимізації пошукових робіт. Ступінь інформативності ільменітових та магнетитових серій гранітів у вирішенні вищезгаданих металогенічних задач може бути значно підвищена, якщо до цього долучити інформацію про типоморфізм деяких акцесорних (тантало-ніобати) та породоутворюючих мінералів (амфібол, біотит).

Список літератури / References

1. Галий С.А., Есипчук К.Е., Когут К.В., Кондратенко П.А. Вербинское месторождение молибдена (северо-запад Украинского щита): петрография, минералогия, условия формирования. *Минерал. журн.* 2000. № 4. С. 73-84.

Galiy S.A., Esipchuk K.E., Kogut K.V., Kondratenko P.A., 2000. Verbinsky deposit of molybdenum (northwest of the Ukrainian Shield): petrography, mineralogy, formation conditions. *Mineralogicheskii zhurnal*, № 4, p. 73-84 (in Russian).

2. Есипчук К.Е. Петролого-геохимические основы формационного анализа гранитоидов докембрия. Киев: Наук. думка, 1988. 264 с.

Esipchuk K.E., 1988. Petrologo-geochemical principles of formation analysis of granitoids of precambrian. Kiev: Naukova Dumka, 264 p. (in Russian).

3. Есипчук К.Е. и др. Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность (справочник). Киев: Наук. думка, 1993. 302 с.

Esipchuk K.E. et al. Granitoids of the Ukrainian Shield. Petrochemistry, geochemistry, ore content (reference book). Kiev: Naukova Dumka, 1993, 302 p. (in Russian).

4. Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко О.В. и др. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1990. 234 с.

Esipchuk K.E., Sheremet E.M., Zinchenko O.V. et al., 1990. Petrology, geochemistry and ore content of intrusive granitoids of the Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 234 p. (in Russian).

5. Клочков В.М., Пийяр Ю.К., Шевченко О.М., Клочков С.В., Пилипчук О.М. Кировоградський орогенний пояс. Будова та еволюція. *Мінер. ресурси України.* 2006. № 2. С. 18-22.

Klotchkov V.M., Piyar Yu.K., Shevchenko O.M., Klochkov S.V., Pilipchuk O.M., 2006. Kirovograd orogenic belt. A structure and evolution. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 2, p. 18-22 (in Ukrainian).

6. Махлаев Л.В. Граниты – визитная карточка Земли (почему их нет на других планетах). *Соросовский образовательный журнал.* 1999. № 3. С. 93-102.

Mahlaev L.V., 1999. Granites – business card of the Earth (why they are not present on other pla-

nets). *Sorosovsky obrazovatelnyy zhurnal*, № 3, p. 93-102 (in Russian).

7. *Металлогения докембрийских гранитоидов* / под ред. Лучицкого И.В. Москва: Наука, 1983. 296 с.

Metallogeny of Precambrian granitoids / Ed. Luchitskiy I.V. Moscow: Nauka, 1983, 296 p. (in Russian)

8. Митрохин О.В. Анортозит-рапаківі-гранітна формація Українського щита (геологія, речовинний склад та умови формування): Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2011. 36 с.

Mitrohin O.V., 2011. Anortosite-rapakivi-granite formation of the Ukrainian Shield (geology, mineral composition and conditions of formation). Abstract of thesis, Doctor of Science in Geology. Kyiv, 36 p. (in Ukrainian).

9. Толстой М.И., Гасанов Ю.Л., Костенко Н.В. та ін. Петрогеохімія і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання. Київ: Вид. центр «Київ. ун-т», 2003. 329 с.

Tolstoy M.I., Gasanov Yu.L., Kostenko N.V. et al., 2003. Petrochemistry and petrophysics of granitoids of the Ukrainian Shield and some aspects of their practical usage. Kyiv: Vydavnychyy tsester «Kyivskiy Universitet», 329 p. (in Ukrainian).

10. Ходоревская Л.И. Гранитизация амфиболитов. Ч. 2. Основные закономерности физических и химических явлений при процессах фильтрации флюидов через породу. *Петрология.* Т. 12, № 3. С. 321-336.

Hodorevskaya L.I., 2004. Granitisation of amphibolites. Part 2. The basic patterns of physical and chemical phenomena at processes of filtration of fluids through rock. *Petrologiya*, vol. 12, № 3, p. 321-336 (in Russian).

11. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 364 с.

Shcherbakov I.B., 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lvov: ZUKC, 364 p. (in Russian).

12. Щербаков И.Б., Есипчук К.Е., Орса В.И. Гранитоидные формации Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1984. 192 с.

Shcherbakov I.B., Esipchuk K.E., Orsa V.I. 1984. Granitic formations of the Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 192 p. (in Russian).

13. Blevin P.L., Chappell B.W., 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, p. 305-316.

Blevin P.L., Chappell B.W., 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, p. 305-316 (in English).

14. Cerny P., Ercit T.S., 2005. Classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist*, 43, 2005-2026.

Cerny P., Ercit T.S., 2005. Classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist*, 43, 2005-2026 (in English).

15. Chappell B.W., White A.J.R., 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 4, p. 489-499.

Chappell B.W., White A.J.R., 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 4, p. 489-499 (in English).

16. Condie K.C., Belousova E., Griffin W.L., Sircombe K.N., 2009. Granitoid events in space and time: Constraints from igneous and detrital zircon age spectra. *Gondwana Research*, Vol. 15. P. 228-242.

Condie K.C., Belousova E., Griffin W.L., Sircombe K.N., 2009. Granitoid events in space and time: Constraints from igneous and detrital zircon age spectra. *Gondwana Research*, vol. 15, p. 228-242 (in English).

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

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

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

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

19. Ishihara S. The redox state of granitoids relative to tectonic setting and earth history: The magnetite-ilmenite series 30 years later. *Geological Society of America Special Papers*. Vol. 389. P. 23-33.

Ishihara S., 2004. The redox state of granitoids relative to tectonic setting and earth history: The

magnetite-ilmenite series 30 years later. *Geological Society of America Special Papers*, vol. 389, p. 23-33 (in English).

20. Patino Douce A.E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas. In: Castro, A., Fern6ndez, C. & Vigneresse, J. L. (eds.) *Understanding Granites. Integrating New and Classical Techniques. Special Publications, Geological Society*. London. Vol. 168. P. 55-75.

Patino Douce A.E., 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas. In: Castro, A., Fern6ndez, C. & Vigneresse, J. L. (eds.) *Understanding Granites. Integrating New and Classical Techniques. Special Publications, Geological Society*. London, vol. 168, p. 55-75 (in English).

21. Read H.H. Granites and granites. *Geological Society of America Memoir*. 1948. Vol. 28. P. 1-20.

Read H.H., 1948. Granites and granites. *Geological Society of America Memoir*, vol. 28, p. 1-20 (in English).

22. Sawyer E.W. Migmatites formed by water-fluxed partial melting of a leucogranodiorite protolith: Microstructures in the residual rocks and source of the fluids. *Lithos*. Vol. 116. P. 273-286.

Sawyer E.W., 2010. Migmatites formed by water-fluxed partial melting of a leucogranodiorite protolith: Microstructures in the residual rocks and source of the fluids. *Lithos*, vol. 116, p. 273-286 (in English).

23. Sial A.N., Bettencourt J.S., De Campos C.P., Ferreira V.P. Granite-related ore deposits: an introduction. *Geological Society, Special Publications*. London. Vol. 350. P. 1-5.

Sial A.N., Bettencourt J.S., De Campos C.P., Ferreira V.P., 2011. Granite-related ore deposits: an introduction. *Geological Society, Special Publications*. London, vol. 350, p. 1-5 (in English).

24. Taylor S.R., McLennan S.M. Planetary crusts: their composition, origin and evolution. New York: Cambridge University Press, 2009. 378 p.

Taylor S.R., McLennan S.M., 2009. Planetary crusts: their composition, origin and evolution. New York: Cambridge University Press, 378 p. (in English).

25. White A.J.R., Chappell B.W. Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*. 1977. Vol. 43. P. 7-22.

White A.J.R., Chappell B.W., 1977. Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, vol. 43, p. 7-22 (in English).

Стаття надійшла
27.10.2015

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАБАЗИТОВ ПАВЛОВСКОЙ И ЗЕЛЕНОГАЙСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ СТРУКТУР ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

Г.В. Артеменко¹, Б.В. Бородиня², М.Е. Стеценко³

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

¹ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: regul@igmof.gov.ua*

Доктор геологических наук, профессор, заведующий отделом.

² *Приазовская КГЭ, КП «Южукргеология», Волноваха, Донецкая область, Украина,
E-mail: prkqp@rambler.ru*

Начальник геологического отряда.

³ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина.
Научный сотрудник.*

Павловская и Зеленогайская зеленокаменные структуры (ЗКС) отличаются от других ЗКС Приазовского мегаблока отсутствием вулканитов ультраосновного состава. Метабазиты Павловской ЗКС относятся к толеитовой серии и обнаруживают тренд обогащения железом, а метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к известково-щелочной серии. Снизу вверх по разрезу в метабазитах метатолеитовой формации Павловской ЗКС увеличивается железистость, титанистость, содержание РЗЭ и уменьшается глиноземистость. Метабазиты нижней части разреза метатолеитовой формации относятся к типу N-MORB, а верхней – к типу E-MORB. Последние отличаются положительной Nb аномалией ($Nb/Nb^* = 1,35$). Метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к наиболее лейкократовым разновидностям базитов и относятся к типу известково-щелочных базальтов. Отличаются значительно большими содержаниями Rb, Sr, Ba, РЗЭ, Th, Pb и меньшими – Ni, Cr и V. Метабазиты Павловской и Зеленогайской ЗКС Восточного Приазовья образовались из плюмовых магматических источников ($\Delta Nb = +0,03-0,43$). Присутствие в разрезе Зеленогайской ЗКС андезитов может указывать на их формирование в островодужном режиме в отличие от рифтогенных ЗКС Западноприазовского блока.

Ключевые слова: Украинский щит, Восточное Приазовье, Павловская ЗКС, Зеленогайская ЗКС, амфиболиты, метаандезиты, лептиты, РЗЭ.

GEOCHEMICAL FEATURES OF METABASITE OF PAVLOVKA AND ZELENIIY GAY GREENSTONE STRUCTURE OF EASTERN AZOV (UKRAINIAN SHIELD)

G.V. Artemenko¹, B.V. Borodynya², M.E. Stezenko²

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

¹ *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,
E-mail: regul@igmof.gov.ua*

Doctor of geological sciences, professor, head of department.

² *Priazov KGE, KP «Yuzhukrgeologiya», Volnovaha, Donetsk region, Ukraine,
E-mail: prkqp@rambler.ru*

Head of the geological unit.

³ *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine.
Researcher.*

Pavlovka and Zeleniy Gay greenstone structure different from other greenstone structures of Azov megablock lack of ultramafic volcanics. Metabasites of Pavlovka GS related to the tholeiitic series and discover the trend of iron enrichment and metabasites of Zeleniy Gai – belong to calc-alkaline series. From bottom to top in the section in the metabasites of metatoleite formation of Pavlovka GS increases iron, titaniferous content and rare earth elements and reduced alumina content. Metabasites of lower parts of metatoleitick formation belongs to the type N-MORB and the top – to the type E-MORB. The latter differ of Nb positive anomaly ($Nb/Nb^* = 1,35$). Metabasites of Zeleniy Gay GS among the most leucocratic varieties mafic potassium and related to the type of calc-alkaline basalts. It has been much more content of Rb, Sr, Ba, REE, Th, Pb and smaller – Ni, Cr and V. Metabasites of Pavlovka and Zeleniy Gay greenstone structures of the Eastern Azov formed from magma plume sources ($\Delta Nb = +0,03-0,43$). The presence in a cross-sectional Zeleniy Gay andesites may indicate their formation in island-arc regime unlike rift greenstone structures of West-Prizov block.

Key words: Ukrainian Shield, Eastern of Azov, Pavlovka GS, Zeleniy Gay GS, amphibolites, metaandesites, leptites, REE.

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБАЗИТІВ ПАВЛІВСЬКОЇ ТА ЗЕЛЕНОГАЙСЬКОЇ ЗЕЛЕНОКАМ'ЯНИХ СТРУКТУР СХІДНОГО ПРИАЗОВ'Я (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Г.В. Артеменко¹, Б.В. Бородиня², М.Е. Стеценко³

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

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна,
E-mail: regul@igmof.gov.ua

Доктор геологічних наук, професор, завідуючий відділом.

² Приазовська КГЕ, КП «Південьукргеологія», Волноваха, Донецька область, Україна,
E-mail: prkgr@rambler.ru

Начальник геологічного загону.

³ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ, Україна.
Науковий співробітник.

Павлівська та Зеленогайська зеленокам'яні структури (ЗКС) Східного Приазов'я відрізняються від інших ЗКС Приазовського мегаблоку відсутністю вулканітів ультраосновного складу. Метабазити Павлівської ЗКС відносяться до толеїтової серії і виявляють тренд збагачення залізом, а метабазити Зеленогайської ЗКС належать до вапнисто-лужної серії. Знизу вгору по розрізу у метабазитах метатолейтової формації Павлівської ЗКС збільшується залізистість, титаністість, вміст РЗЕ і зменшується глиноземистість. Метабазити нижньої частини розрізу метатолейтової формації відносяться до типу N-MORB, а верхньої – до типу E-MORB. Останні відрізняються позитивною Nb аномалією ($Nb/Nb^* = 1,35$). Метабазити Зеленогайської ЗКС належать до найбільш лейкократових різновидів базитів і відносяться до типу вапнисто-лужних базальтів. Відрізняються значно більшим вмістом Rb, Sr, Ba, РЗЕ, Th, Pb і меншим – Ni, Cr та V. Метабазити Павлівської та Зеленогайської ЗКС утворились з плюмових магматичних джерел ($\Delta Nb = +0,03-0,43$). Присутність в розрізі Зеленогайської ЗКС андезитів може вказувати на їх формування в островодужних умовах на відміну від рифтогенних ЗКС Західноприазовського блоку.

Ключові слова: Український щит, Східне Приазов'я, Павлівська ЗКС, Зеленогайська ЗКС, амфіболіти, метаандезити, лептити, РЗЕ.

Введение

В Приазовском мегаблоке останцы зелено-каменных структур (ЗКС) наблюдаются в Западном, Центральном и Восточном Приазовье (рис. 1), что дает основание отнести его к архейскому кратону. В палеопротерозое этот кратон претерпел сильную тектоническую переработку вследствие коллизионных процессов около 2,05 млрд лет тому назад

[Божко, 2013]. В результате этого ЗКС были сильно деформированы и фрагментированы вдоль тектонических разломов. Состав осадочно-вулканогенных пород в ЗКС Приазовского мегаблока имеет определенные различия. В ЗКС Западноприазовского блока вулканизм был бимодальный, в то время как в таких же структурах в пределах Орехово-Павлоградской зоны и Восточном



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Восточного Приазовья [Б.В. Бородиня та ін., 2007 р. з уточненнями]

1 – верхнетокмакская толща; 2 – ремовский? комплекс – плагиограниты, плагиомигматиты; 3 – косивцевская толща; 4 – максимовская ассоциация – гранодиориты; 5 – драгунская толща, темрюкская свита; 6 – токмакский комплекс – чарнокиты-эндербиты; 7 – каратюкский комплекс – плагиограниты; 8 – анадолийский комплекс: а – мигматиты, б – граниты; 9 – салтычанский комплекс – граниты; 10 – хлебодаровский комплекс: а – граниты, б – граносиениты; 11 – октябрьский комплекс – габбро, сиениты; 12 – каменномогильский комплекс – граниты; 13 – герцинские малые интрузии и субвулканические аппараты; 14 – разрывные нарушения: а – главные, б – второстепенные (цифры в ромбе): 1 – Западнопавловский разлом, 2 – Восточнопавловский разлом, 3 – Володарский разлом, 4 – Южнодонбасская зона разломов; 15 – основные структуры (цифры в кружке): 1 – Малоянисольская синклиальная (тектоническая) зона; 2 – Павловская ЗКС; 3 – Петровский массив; 4 – Зеленогайская ЗКС; 5 – Рыбинский массив; 6 – Октябрьский массив; 7 – Хлебодаровский массив; 16 – линии разрезов и их названия (А – Павловский, Б – Зеленогайский)

Fig. 1. Schematic geological map of Eastern Azov [Borodynya et al., 2007 with updates]

1 – Verkhniy Tokmak thickness; 2 – removka? complex – plagiogranites, plagiomigmatites; 3 – Kosivtsevo thickness; 4 – Maksimovka association – granodiorite; 5 – Dragoon thickness, Temryuk suite; 6 – Tokmak complex – charnockites-enderbites; 7 – Karatyuk complex – plagiogranites; 8 – Anadol complex: a – migmatites, b – granites; 9 – Saltych complex – granite; 10 – Hlebodarovka complex: a – granites, b – granosyenites; 11 – October complex – gabbro, syenite; 12 – Kamennye Mogily complex – granite; 13 – Hercynian small subvolcanic intrusions and apparatus; 14 – faults and their names (numbers in box): a – major, b – secondary: 1 – West-Pavlovka fault, 2 – East-Pavlovka fault, 3 – Volodarka fault; 4 – South-Donbass fault zone; 15 – the main structure (the numbers in the circle): 1 – Maloyanisol syncline (tectonic) zone; 2 – Pavlovka GS; 3 – Petrov massif; 4 – Zeleniy Gay GS; 5 – Rybinsk massif; 6 – Oktober massif; 7 – Hlebodarovka massif; 16 – line sections and their name (A – Pawlovka, B – Zeleniy Gay)

Приазовье – полимодальный и включал андезиты. Геохронологические и геохимические данные указывают на существование палеоархейской сиалической коры в Западноприазовском блоке, на которой закладывались мезоархейские зеленокаменные пояса [Артеменко, Самборская, 2009; Артеменко и др., 2014; Бибикина и др., 2010]. Этим и определяется, вероятно, различие в составе осадочно-вулканогенных разрезов ЗКС.

Павловская и Зеленогайская ЗКС Восточного Приазовья еще очень слабо изучены. Павловская ЗКС сложена амфиболитами с небольшим количеством микрогнейсов и метавулканитов кислого и среднего составов в верхней части разреза [Бородиня та ін., 2007; Васильченко и др., 1989; Стрекозов, Груба, 1993]. В Зеленогайской ЗКС разрез представлен чередованием амфиболитов с метавулканитами кислого и среднего состава.

Возраст формирования ЗКС Восточного Приазовья не установлен. Осадочно-вулканогенные породы Павловской ЗКС прорываются гранодиоритами предположительно обиточненского комплекса (кварц-диорит-гранодиоритовая формация) Петровского массива и многочисленными жильными телами турмалинсодержащих гранитоидов салтычанского комплекса (аляскитовая формация) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993], а Зеленогайской ЗКС – лейкократовыми гранитами возрастом (2480 ± 20) млн лет [Татарінова та ін., 2002] и наблюдаются в виде ксенолитов среди гранодиоритов Рыбинского массива.

Постановка проблемы

Архейские образования Восточного Приазовья (Восточноприазовский антиклинорий) сильно переработаны палеопротерозойскими гранитоидами и щелочными комплексами. Изучены они очень слабо. Поэтому большой интерес представляют геохимические исследования пород Павловской и Зеленогайской ЗКС, расположенных в крайней восточной части Украинского щита (рис. 1), генезис которых не вызывает сомнений. Изучение геологических разрезов и геохимических особенностей осадочно-вулканогенных пород отдельных ЗКС на площади

Приазовского и Среднеприднепровского мегаблоков позволяет охарактеризовать геологические процессы формирования мезоархейской Курско-Приднепровской ГЗО, которая была заложена на палеоархейском протократоне.

Методика исследований

Малые и редкие элементы определены методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа (ICP-MS) в аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии и микроэлектроники РАН, г. Черноголовка. Разложение образцов пород проведено методом кислотного разложения как в открытой, так и в закрытой системах, в зависимости от состава породы. Пределы обнаружения для REE, Hf, Ta, Th, U составляли 0,02–0,03 ppm, для Nb, Be, Co – 0,03–0,05 ppm, для Li, Ni, Ga, Y – 0,1 ppm, для Zr – 0,2 ppm, для Rb, Sr, Ba – 0,3 ppm, для Cu, Zn, V, Cr – 1–2 ppm. Правильность анализов контролировали путем измерения международных и российских стандартных образцов GSP-2, BM, СГД-1А, СТ-1. Ошибки определения концентраций составляли от 3 до 5 мас. % для большинства элементов.

Основные черты геологического строения Павловской и Зеленогайской ЗКС

К наиболее древним породам в этом районе относят породы западноприазовской серии [Бородиня та ін., 2007; Васильченко и др., 1989; Стрекозов, Груба, 1993]. Они слагают многочисленные складки разных размеров и структурных форм – наблюдается сочетание куполовидных и линейных складок разного масштаба северо-западного простирания размером от нескольких сотен метров до первых километров, которые усложнены мелкой, близкой к изоклиальной складчатостью более высоких порядков.

В составе мезоархейского комплекса выделяются осадочно-вулканогенные породы Павловской и Зеленогайской ЗКС (рис. 1), которые слагают троговые структуры, приуроченные к крупным разломным зонам.

Павловская ЗКС прослеживается в виде узкой полосы (длина около 38 км, ширина от 400 до 1500 м) северо-западного простирания от с. Златоустовка (на юге) до с. Пречистовка (на севере). В структурном отношении она приурочена к западной границе Восточноприазовского антиклинория. С запада Павловская ЗКС ограничена восточным флангом Малоянисольской тектонической зоны (Западнопавловский разлом), который является границей между Цен-

тральноприазовским (Мангушским) синклинорием и Восточноприазовским антиклинорием [Бородиня та ін., 2007], а с востока – Восточнопавловским разломом (рис. 1). Породы, слагающие Павловскую ЗКС, разделены на две подтолщи (формации): нижнюю метатолеитовую и верхнюю известково-сланцевую (рис. 2) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Общая площадь их выходов на домезозойском срезе составляет около 38 км².

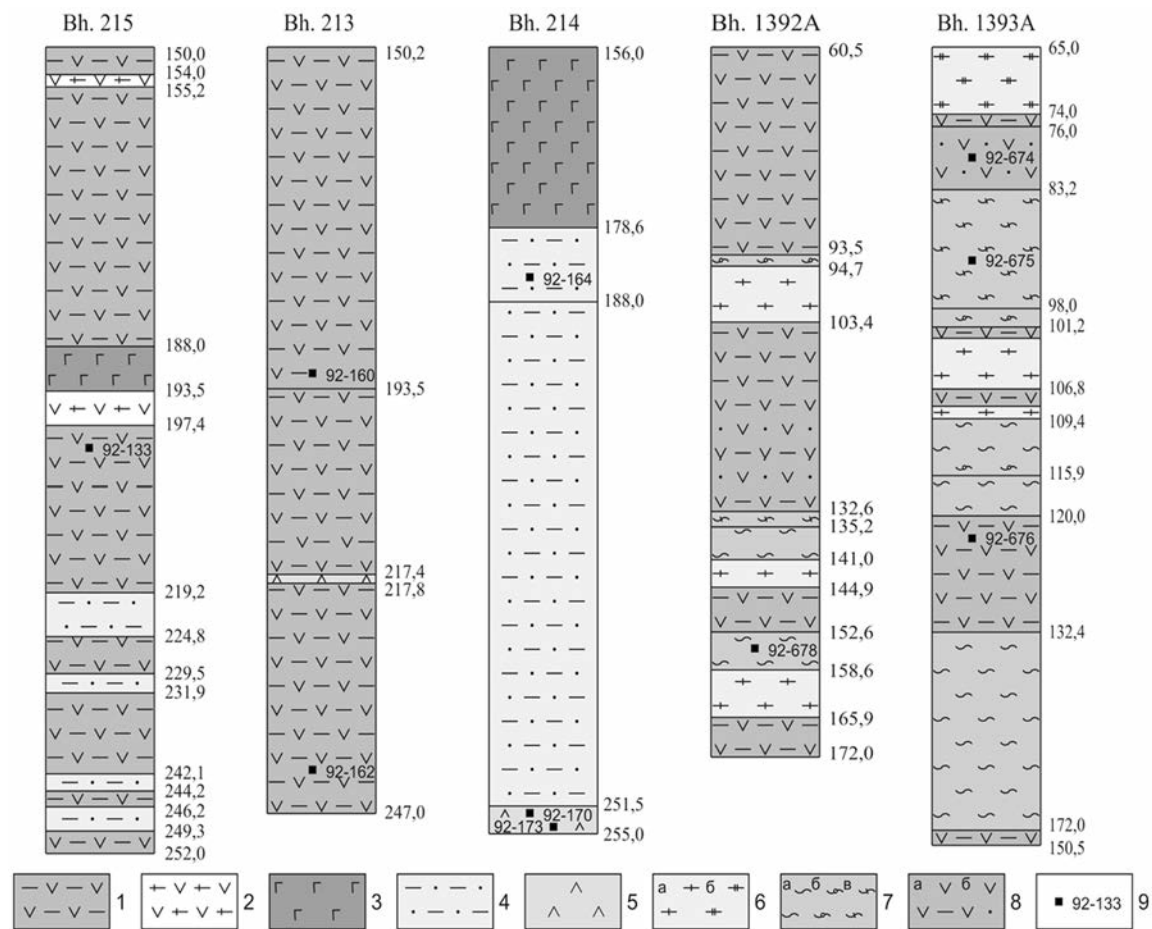


Рис. 2. Схематические колонки скважин Павловской (скв. 213-215) и Зеленогайской (скв. 1392А, 1393А) ЗКС [Стрекозов, Груба, 1993]

Павловская ЗКС: 1 – амфиболит рассланцованный; 2 – мигматит; 3 – дайка габбро; 4 – микрогнейс амфибол-биотитовый; 5 – метаандезит. Зеленогайская ЗКС (метадацит-андезит-базальтовая формация): 6 – плагиогнейсы (а – биотитовые, б – роговообманково-биотитовые); 7 – кристаллические сланцы (а – роговообманково-биотитовые и биотит-роговообманковые, б – биотитовые, в – роговообманковые); 8 – амфиболиты (а – равномерно-зернистые, б – гломмеро- и порфиробластические); 9 – точки отбора образцов и их номера

Fig. 2. Schematic column of Borehole of Pavlovka (Bh. 213-215) and Zeleniy Gay (Bh. 1392A, 1393A) GS [Стрекозов, Груба, 1993]

Pavlovka GS: 1 – amphibolite schistose; 2 – migmatite; 3 – dyke gabbro; 4 – amphibole-biotite microgneisses; 5 – metaandesite. Zeleniy Gay GS (metadacite-andesite-basalte formation: 6 – plagiogneiss (a – biotite, b – hornblende-biotite); 7 – crystalline schists (a – hornblende-biotite and biotite-hornblende, б – biotite, в – hornblende); 8 – amphibolites (a – equigranular б – glommero- and porphyroblastic); 9 – point sampling

В средней части Павловской ЗКС четко устанавливается ее синклиальный характер. Внутреннюю часть синклинали слагают образования верхней подтолщи (известково-сланцевая формация), а крылья – нижней подтолщи (метатолеитовая формация) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Осевая поверхность синклинали субпараллельна простиранию ЗКС. По подошве верхней подтолщи протяженность ядра синклинали около 7 км, размах крыльев от 200 до 750 м. Падение слоев в западном крыле синклинали в восточных румбах изменяется от 80-85° в прибортовой части до 60-65° во внутренней части. В восточном крыле синклинали падение слоев менее крутое и колеблется от 45° до 60° в западных румбах. Породы, слагающие эту структуру, интенсивно рассланцованы и затронуты метасоматозом.

Павловская ЗКС вскрыта тремя профилями скважин и отдельными скважинами [Васильченко и др., 1989; Стрекозов, Груба, 1993]. Слагающие ее породы повсеместно тонкосланцеватые, иногда тонкослоистые с вертикальным падением структурных эле-

ментов. Поэтому при изучении керна (20-80 м по каждой скважине) полученных данных о строении и составе толщи недостаточно.

Нижняя подтолща (метатолеитовая формация) имеет мощность около 700 м [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Перекрытый разрез подтолщи отсутствует. Изученные ее фрагменты указывают на значительное однообразие состава и внешнего облика разных ее частей. Сложена она в основном тонкозернистыми амфиболитами массивной или сланцеватой текстуры. Среди них изредка отмечаются маломощные (0,5-5,0 см) прослои роговообманковых микрогнейсов и гранат-биотитовых микроплагиогнейсов. В одной скважине вскрыты сланцы среднего состава. Основные черты породного состава подтолщи показаны в колонках скв. 215 и 213 [Стрекозов, Груба, 1993] на западном фланге Павловской ЗКС (рис. 2).

Скв. 215, расположенной в 250 м от западной границы структуры, вскрыта круто падающая в восточных румбах (от 78° до 87°) слоистая толща пород мощностью 34,4 м (рис. 3). В нижней части разреза

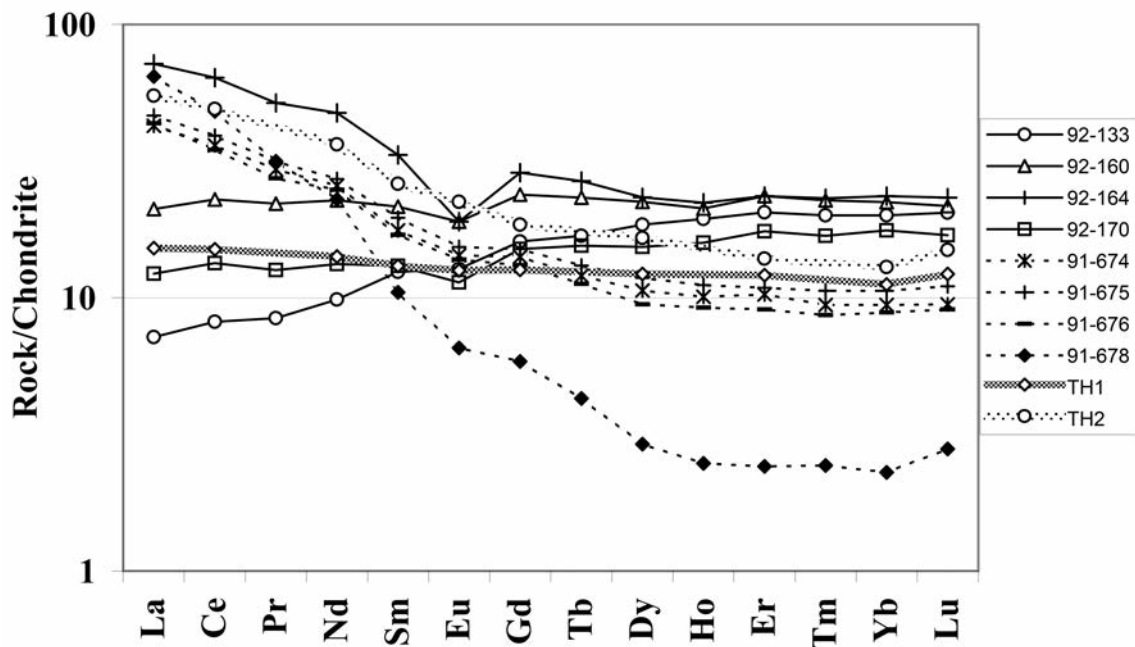


Рис. 3. Графики распределения РЗЭ пород Павловской и Зеленогайской ЗКС. Нормировано на хондрит C1 [Sun, Donough, 1989]

Fig. 3. Charts REE distribution and rocks Pavlovka and Zeleniy Gay GS. Normalized to chondrite C1 [Sun, Donough, 1989]

толщи (горизонт 1) выделяются сланцы (метавулканиды?) среднего состава, которые вверх по стратиграфической вертикали сменяются толщей (горизонт 2) переслаивающихся сланцев и амфиболитов (метавулканиды среднего и основного состава?). Выше (горизонт 3) залегают амфиболиты основного состава (метавулканиды?), а завершают изученный фрагмент разреза метавулканиды среднего состава (горизонт 4).

Скв. 213, находящаяся на расстоянии 170 м на восток от скв. 215, вскрыт фрагмент более верхней части разреза подтолщи мощностью 35 м (горизонт 5). Его представляют темно-серые, тонкозернистые, внешне близкие к массивным или четко сланцеватые амфиболиты. Среди них встречен лишь один маломощный (около 5 см) прослой карбонат-актинолит-плагиоклазовых сланцев (карбонат и актинолит соответственно составляют 5-7 и 25-30% объема породы). Для всей пачки амфиболитов характерна интенсивная сульфидная минерализация, приуроченная как к плоскостям сланцеватости и разнонаправленных трещин, так и рассеянная по всей массе пород.

Верхняя подтолща (известково-сланцевая формация) сложена главным образом амфиболитами, гнейсами и сланцами [Стрекозов, Груба, 1993]. Для нее характерны отчетливо выраженная полосчатость и повсеместно проявленная сульфидная минерализация. Кроме того, в породах этой толщи часто присутствует турмалин. Она вскрыта скв. 140 и 214 в юго-восточном крыле синклинальной структуры и скв. 141 в юго-западном крыле (рис. 1). Перекрытый разрез этой толщи отсутствует.

Среди вулканических пород Павловской ЗКС выделяются два типа пород – амфиболиты и лептитовые гнейсы. Вследствие метаморфических преобразований в описанных амфиболитах, сланцах и гнейсах практически не сохранились какие-либо отчетливые петрографические признаки, однозначно указывающие на первичную природу этих пород.

Амфиболиты, как правило, в разной степени рассланцованы и разгнейсованы, нередко превращены в сланцы кварц-плагиоклаз-амфиболового состава. Массивные встречаются редко. Все указанные текстурные разновидности многократно чередуются

между собой, не образуют обособленных тел и постепенно переходят друг в друга. Это мелко- и среднезернистые породы. Структура гранонематобластовая и нематогранобластовая. Изредка наблюдаются пятнисто окрашенные кварц-плагиоклаз-амфиболовые сланцы узловатой текстуры. Все сланцы Павловской ЗКС имеют апоамфиболитовую природу. Минеральный состав этих пород: амфибол – 65-80%, плагиоклаз – 10-30%, кварц – 8-10%, биотит – 0-12%, сфен – 0-5%, магнетит – ед. зерна -1%, апатит – ед. зерна, эпидот – 0-4%, карбонат – доли %, хлорит – 0-доли %, микроклин – ед. зерна-6%.

Лептитовые гнейсы – это тонко- и мелкозернистые породы светлой окраски: серые, зеленовато-серые, розовато-серые, серо-розовые. Текстура гнейсовидная, иногда массивная. Состав их кварц-полевошпатовый, биотит-кварц-полевошпатовый, иногда с эпидот-биотит-кварц-полевошпатовыми прослоями. Согласно петрохимическим данным (табл. 1), лептитовые гнейсы Павловской ЗКС являются породами переменного состава.

Зеленогайская ЗКС находится в 26 км восточнее Павловской. Расположена на водоразделе балок Кашлагач, Мокрая Волноваха и Сухая Волноваха, в 2 км северо-западнее с. Бугас. Приурочена к зоне сочленения Приазовского мегаблока со Складчатым Донбассом, ограничена субпараллельными разломами среди поля развития супракрустальных образований верхнетокмакской толщи (рис. 1). На юго-востоке породы Зеленогайской структуры, через Володарский разлом, граничат с гранодиоритами Рыбинского массива, а на северо-западе, вдоль Южнодонбасской зоны разломов, перекрыты толщей известняков Складчатого Донбасса.

На современном домезозойском срезе Зеленогайская ЗКС занимает площадь около 5,1 км² при ширине от 400 до 1000 м и длине 6 км. Ориентирована в северо-западном направлении. Породы, слагающие Зеленогайскую ЗКС, интенсивно дробленные, таклазироваанные, милонитизированные. По данным гравитационного моделирования мощность толщи составляет около 500 м [Стрекозов, Груба, 1993]. Тектоническая структура пока изучена недостаточно полно.

Существующие материалы позволяют считать, что породы Зеленогайской ЗКС смяты в серию складок с умеренной крутизной наклона пластов в крыльях и с осевыми поверхностями, субпараллельными простиранию грабена.

Наиболее представительные фрагменты разреза Зеленогайской ЗКС вскрыты скв. 1392А и 1393А в северо-восточной части грабена (рис. 1). Этими скважинами вскрыта толща ритмичного строения, в которой выделяются трех- и двухкомпонентные ритмы (рис. 2) [Стрекозов, Груба, 1993]. Нижними членами являются плагиогнейсы, средними – кристаллические сланцы, верхними – амфиболиты. Подобные парагенезисы вскрыты также скв. 220-229. Все амфиболиты этого участка биотитизированы и микроклинизированы.

Амфиболиты – темно-серые, мелкозернистые, рассланцованные породы. Минеральный состав (%): роговая обманка – 60-80; плагиоклаз – 20-40. Вторичный минерал – эпидот.

Кристаллические сланцы представлены преимущественно биотит-рогообманковыми и (реже) роговообманково-биотитовыми разновидностями. Иногда наблюдаются также биотитовые и роговообманковые кристаллические сланцы. Структура лепидогранобластовая или гранобластовая с элементами нематобластовой. Текстура сланцеватая.

Все разновидности кристаллических сланцев в большинстве случаев меланократовые. Минеральный состав (%): роговая обманка – 17-45; биотит – от ед. зерен до 30-35; плагиоклаз (андезин, реже олигоклаз) – от 50 до 70; кварц – до 10-12%; микроклин – до 12-15%; эпидот – ед. зерна.

Плагиогнейсы представляют собой серые, местами со слабо выраженным розоватым оттенком мелкозернистые породы, часто в той или иной мере полосчатые. Количество темноцветных минералов в этих породах варьирует от 5-6 до 20%. Среди них преобладает биотит, иногда фиксируется роговая обманка – от ед. зерен до 2%. Салические минералы представлены плагиоклазом – от 35 до 60% и кварцем – 17-25%, микроклином – от ед. зерен до 30%. В виде разрозненных зерен присут-

ствует эпидот, который обычно имеет признаки вторичного минерала. Акцессорные минералы представлены титаномагнетитом (до 4%), апатитом, сфеном, цирконом и пиритом. Структура плагиогнейсов лепидогранобластовая, нередко усложненная элементами метасоматической.

Результаты геохимических исследований

Павловская ЗКС. Выполнены геохимические исследования амфиболитов и сланцев метатолеитовой (обр. 92-133, 92-162, 92-160) и известково-сланцевой формаций (обр. 92-164, 92-170, 92-173) (табл. 1, 2).

По химическому составу (SiO_2 – 48,75-51,10%; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ = 2,90-5,95%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ = 1,59-7,55%) – это основные породы нормального ряда, натриевой и калиево-натриевой серий [Магматические..., 1983] (табл. 1). Низкомагнезиальные ($\#mg$ = 0,43-0,53).

На диаграмме АФМ фигуративные точки амфиболитов Павловской ЗКС расположены в поле толеитовой серии и образуют тренд в сторону вершины FeO. Снизу вверх по разрезу толеитовой формации увеличивается железистость и титанистость metabазитов и уменьшается глиноземистость.

На тройной диаграмме Дженсена (Al_2O_3 – $\text{FeO}_{\text{tot}}+\text{TiO}_2$ – MgO) [Jensen, 1976] точки metabазитов метатолеитовой формации Павловской ЗКС расположены в поле высокожелезистых толеитов, а известково-сланцевой формации (обр. 92-170, 92-173) – в поле толеитовых андезитов. Последние отличаются повышенным содержанием Al_2O_3 (16,60-17,80%) (табл. 1).

Амфиболиты второго горизонта метатолеитовой формации (обр. 92-133) характеризуются наиболее низким содержанием РЗЭ (ΣREE = 32,3 ppm). График распределения РЗЭ – дифференцированный, они обеднены легкими РЗЭ – $((\text{La}/\text{Yb})_N = 0,34)$ (рис. 3). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительные – Sr и Eu, что может свидетельствовать о дифференциации расплава в промежуточном магматическом источнике. На диаграмме $\text{La}/10$ – $\text{Y}/15$ – $\text{Nb}/8$ [Cabanis, Lecolle, 1989] фигуративная точка амфиболитов второго горизонта попадает в поле E-MORB.

Таблица 1. Химические анализы пород Павловской и Зеленогайской ЗКС
Table 1. Chemical analyzes of the rocks of Pavlovka and Zeleny Gay GS

Окислы, %	1/ 92-133	2	3/ 92-162	4/ 92-160	5/ 92-170	6/ 92-173	7	8	9/ 92-164	10	11	12	13	14	15/ 91-677	16
SiO ₂	48,75	48,73	49,72	50,22	50,35	49,00	48,20	51,10	64,00	51,40	47,04	62,00	57,80	56,60	50,17	50,70
TiO ₂	0,75	0,50	1,00	1,00	0,50	0,55	0,57	0,86	0,50	0,69	0,14	0,72	0,59	0,64	0,70	0,67
Al ₂ O ₃	14,50	14,40	14,00	13,52	17,80	16,60	13,80	10,60	15,00	14,50	14,08	14,60	17,40	17,90	15,67	15,90
Fe ₂ O ₃	4,68	4,00	2,72	2,74	1,02	1,16	4,77	1,14	0,40	3,60	2,34	4,00	3,72	2,71	2,94	3,72
FeO	9,30	9,43	11,60	11,86	9,15	8,30	6,69	9,24	6,50	5,31	9,04	2,83	2,82	4,34	6,72	4,85
FeOtot	13,51	13,03	14,05	14,33	10,07	9,34	10,98	10,27	6,85	8,55	11,15	6,43	6,17	6,78	9,37	8,2
MnO	0,10	0,20	0,22	0,18	0,23	0,18	0,22	0,19	0,19	0,21	0,13	0,14	0,15	0,15	0,21	0,18
MgO	6,80	6,80	6,50	6,00	6,30	6,00	6,40	5,30	2,20	7,50	10,05	1,95	3,15	3,10	8,24	7,40
CaO	10,22	10,30	8,35	9,00	9,40	11,70	11,60	8,00	6,30	9,40	11,08	4,60	7,30	8,00	10,23	9,80
Na ₂ O	2,50	2,70	2,70	2,70	3,10	2,60	2,50	3,65	1,90	3,10	2,56	3,80	3,80	4,15	2,28	3,25
K ₂ O	0,40	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	1,05	2,30	1,20	1,50	1,04	3,50	1,30	1,18	1,20	1,18
S _{общ.}	0,54	0,30	0,25	0,18	0,16	0,18-	0,87	1,05	0,40	0,375	-	-	-	-	0,18	-
P ₂ O ₅	0,05	0,03	0,05	0,09	0,01	0,02	0,082	0,21	0,09	0,154	-	0,29	0,187	0,20	-	0,217
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	-	0,23	-	0,24	-	0,15
H ₂ O	0,04	0,04	0,06	0,08	0,01	0,03	-	-	0,08	-	-	0,06	0,07	0,21	0,03	0,09
В.п.п.	1,33	2,00	2,00	1,90	1,80	3,00	2,83	5,53	1,40	1,90	2,80	1,08	0,90	0,83	1,11	1,37
Сумма	99,70	99,72	99,56	99,92	100,23	99,89	99,58	99,17	100,36	99,64	100,30	99,51	99,12	99,80	99,65	99,24
#mg	0,47	0,48	0,45	0,43	0,53	0,53	0,51	0,48	0,36	0,61	0,62	0,36	0,48	0,45	0,61	0,62
Кф	52,7	51,7	54,8	57,2	47,3	46,6	49	52	63,6	39	38,4	64,5	52,4	55,2	39	38,4
Al'	0,70	0,71	0,67	0,66	1,08	1,07	0,77	0,68	1,65	0,88	0,66	1,66	1,80	1,76	0,88	1,0

Продолжение табл. 1
Continuation of the Table 1

Окислы, %	17	18/ 91-678	19	20	21	22	23	24	25	26/ 91-674	27/ 91-675	28/ 91-676	29	30	31	32
SiO ₂	54,60	70,46	52,60	51,30	61,50	63,40	49,80	55,40	51,70	50,54	53,35	50,21	50,50	55,10	50,50	63,00
TiO ₂	0,49	0,10	0,80	0,18	0,55	0,76	0,91	0,77	0,69	0,69	1,04	0,55	0,64	0,81	0,94	0,54
Al ₂ O ₃	16,10	16,10	15,80	13,80	15,30	15,10	14,80	16,70	17,00	16,62	14,94	18,07	16,40	16,00	14,10	14,90
Fe ₂ O ₃	4,05	0,45	2,89	5,60	2,41	4,11	6,35	3,98	3,80	2,78	1,81	3,17	2,99	2,26	3,54	1,89
FeO	4,52	1,57	6,37	5,94	3,79	2,58	6,80	4,30	5,21	6,86	7,49	6,15	5,21	5,44	8,16	3,19
FeOtot	8,17	1,98	8,97	10,98	5,96	6,28	12,52	7,88	8,63	9,36	9,12	9,00	7,90	7,83	11,35	4,89
MnO	0,14	0,07	0,20	0,175	0,16	0,085	0,20	0,16	0,18	0,20	0,25	0,22	0,23	0,15	0,20	0,085
MgO	5,60	1,04	5,40	6,60	3,10	1,00	6,70	3,50	5,40	6,43	4,24	6,47	7,20	4,50	6,70	2,50
CaO	6,50	3,07	8,40	9,80	4,40	2,80	7,30	6,40	8,80	9,42	8,96	9,48	10,20	7,20	9,80	4,10
Na ₂ O	3,75	3,80	3,55	3,10	5,10	3,65	3,50	3,70	3,35	3,56	4,22	3,56	2,90	3,30	2,30	3,45
K ₂ O	0,90	2,40	1,18	1,20	1,85	3,90	1,80	1,90	1,40	1,20	1,40	1,20	1,08	1,40	1,05	2,50
So _{общ.}	–	0,01	–	0,033	0,10	0,037	0,045	0,07	–	0,02	0,15	0,23	–	0,125	0,613	0,048
P ₂ O ₅	0,165	0,14	0,23	0,19	0,16	0,195	0,25	0,295	0,25	0,17	0,19	–	0,15	0,29	0,105	0,167
CO ₂	0,15	–	0,15	0,15	0,24	0,44	0,15	0,15	0,24	–	–	–	0,31	0,15	–	0,39
H ₂ O	–	0,02	0,16	0,01	0,11	0,18	0,13	0,08	0,20	0,06	0,18	0,06	0,16	–	–	0,21
В.п.п.	2,30	0,46	1,63	1,34	1,33	0,66	1,65	0,97	1,35	1,16	1,56	1,00	1,38	1,54	2,42	2,44
Сумма	99,12	99,69	99,05	99,26	99,75	98,28	100,11	98,15	99,13	99,71	99,78	100,37	98,88	98,12	100,43	98,81
#mg	0,55	0,48	0,52	0,52	0,48	0,22	0,49	0,44	0,53	0,55	0,45	0,56	0,62	0,51	0,51	0,48
Kf	45	51,8	48,3	48	51,9	77,7	51,2	56	47,2	45	55	43,9	38	49,3	48,8	52,3
al'	1,14	5,26	1,08	0,76	1,65	1,96	0,75	–	1,03	1,10	–	–	1,07	1,31	–	–

Примечания. Павловская ЗКС. Нижняя подтолща (метатолитовая формация): 1 – амфиболит, скв. 215, гл. 199,4 м (92-133); 2 – то же, скв. 215, гл. 182,5 м; 3 – то же, скв. 213, гл. 242,7 м (92-162); 4 – то же, скв. 213, гл. 193,0 м (92-160); 5 – то же, скв. 214, гл. 251,6 м (92-170); 6 – то же, скв. 214, гл. 251,5-255,0 м (92-173). Верхняя подтолща (известково-сланцевая формация): 7 – амфиболит, скв. 046, гл. 187,5 м; 8 – то же, скв. 140, гл. 150,9 м; 9 – биотит-амфиболовый микрогнейс, скв. 214, гл. 185,0 м (92-164). Зеленогайская ЗКС: 10 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 5, обр. 1392А/5); 11 – то же, скв. 1392А, гл. 11 м (обр. 1392А/11); 12 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 12 м (обр. 1392А/12); 13 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 64 м (обр. 1392А/64); 14 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 69 м (обр. 1392А/69); 15 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 77,5 м (91-677); 16 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 90 м (обр. 1392А/90); 17 – метаандезит, скв. 1392А, гл. 129 м (обр. 1392А/129); 18 – аплит, скв. 1392А, инт. 150,3-150,8 м (91-678); 19 – амфиболит, скв. 1392А, гл. 172 м (обр. 1392А/172); 20 – амфиболит, скв. 1393А, гл. 7 (обр. 1393А/7); 21 – метаандезит, скв. 1393А, гл. 9 м (обр. 1393А/9); 22 – метаандезит, скв. 1393А, гл. 12 м (обр. 1393А/12); 23 – амфиболит, скв. 1393А, гл. 14 м (обр. 1393А/14); 24 – метаандезит, скв. 1393А, гл. 21 м (обр. 1393А/21); 25 – амфиболит, скв. 1393А, гл. 76 м (обр. 1393А/76); 26 – то же, скв. 1393А, гл. 80,5 м (91-674); 27 – то же, скв. 1393А, инт. 93-93,4 м (91-675); 28 – то же, скв. 1393А, инт. 123-124 м (91-676); 29 – амфиболит, скв. 1393-А, инт. 129,5-130,9 м, обр. 1393А/130; 30 – метаандезит, скв. 1402А, гл. 93 м (обр. 1402А/93); 31 – амфиболит, скв. 1403А, гл. 111 м (обр. 1403А/111); 32 – метаандезит, скв. 1403А, гл. 137 м (обр. 1403А/137). Химические анализы № 1, 3-6, 9, 15, 18, 26-28 выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины (выделены в таблице); остальные из работы [Стрекозов, Груба, 1993].

Note. Pavlovka GS. Lower tichness (metatolitic formation): 1 – amphibolite, Bh. 215, depth 199,4 m (smp. 92-133); 2 – the same, Bh. 215, depth 182,5 m; 3 – the same, Bh. 213, depth 242,7 m (smp. 92-162); 4 – the same, Bh. 213, depth 193,0 m (smp. 92-160); 5 – the same, Bh. 214, depth 251,6 m (smp. 92-170); 6 – the same, Bh. 214, depth 251,5-255,0 m (smp. 92-173). Upper thickness (calc-schist formation): 7 – amphibolite, Bh. 046, depth 187,5 m; 8 – the same, Bh. 140, depth 150,9 m; 9 – biotite-amphibole microgneisses, Bh. 214, depth 185,0 m (smp. 92-164). Zeleniy Gay GS: 10 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 5 m (smp. 1392А/5); 11 – the same, Bh. 1392А, depth 11 m (smp. 1392А/11); 12 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 12 m (smp. 1392А/12); 13 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 64 m (smp. 1392А/64); 14 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 69 m (smp. 1392А/69); 15 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 77,5 m (smp. 91-677), 16 – amphibolite, Bh. 1392А, depth 90 m (smp. 1392А/90); 17 – metaandesite, Bh. 1392А, depth 129 m (smp. 1392А/129); 18 – apilite, Bh. 1392А, depth 150,3-150,8 m (smp. 91-678); 19 – amphibolite, Bh. 1393А, depth 7 (smp. 1393А/7); 20 – amphibolite, Bh. 1393А, depth 9 m (smp. 1393А/9); 21 – metaandesite, Bh. 1393А, depth 12 m (smp. 1393А/12); 22 – amphibolite, Bh. 1393А, depth 14 m (smp. 1393А/14); 23 – metaandesite, Bh. 1393А, depth 21 m (smp. 1393А/21); 24 – metaandesite, Bh. 1393А, depth 76 m (smp. 1393А/76); 25 – the same, Bh. 1393А, depth 80,5 m (smp. 91-674); 26 – the same, Bh. 1393А, depth 93-93,4 m (smp. 91-675); 27 – the same, Bh. 1393А, depth 123-124 m (smp. 91-676); 28 – amphibolite, Bh. 1393-А, depth 129,5-130,9 m (smp. 1393А/130); 29 – metaandesite, Bh. 1402А, depth 93 m (smp. 1402А/93); 30 – amphibolite, Bh. 1403А, depth 111 m (smp. 1403А/111); 31 – metaandesite, Bh. 1403А, depth 137 m (smp. 1403А/137). Chem. analysis № 1, 3-6, 9, 15, 18, 26-28 are made in the laboratory of IGMR NAS Ukraine (marked in table); the rest from [Стрекозов, Груба, 1993].

Амфиболиты верхнего пятого горизонта метатолеитовой формации (обр. 92-160) отличаются от амфиболитов второго горизонта большим содержанием РЗЭ ($\Sigma\text{REE} = 57,6 \text{ ppm}$). Спектр РЗЭ слабо дифференцированный ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,94$) (рис. 3). По геохимическим характеристикам они близки к архейским базальтам типа TH2 Конди [Конди, 1983]. На спайдер-диаграмме выделяются небольшие по величине положительные аномалии Nb и отрицательные – Sr и Ti. Эти амфиболиты отличаются положительной аномалией Nb ($\text{Nb}/\text{Nb}^* = 1,35$), что позволяет отнести их к группе обогащенных ниобием базальтов NEB (NEB – Nb enriched basalt) [Jochum et al., 1991]. На диаграмме $\text{La}/10\text{-Y}/15\text{-Nb}/8$ фигуративная точка амфиболитов верхнего горизонта метатолеитовой формации (обр. 92-160) попадает в поле обогащенных базитов – E-MORB.

Амфиболиты известково-сланцевой формации (обр. 92-170) имеют низкое содержание РЗЭ ($\Sigma\text{REE} = 36,4 \text{ ppm}$) (табл. 2). График

распределения РЗЭ дифференцированный, обеднены легкими РЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,69$) (рис. 3). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr. На дискриминационной диаграмме $\text{La}/10\text{-Y}/15\text{-Nb}/8$ они попадают в поле базальтов типа N-MORB.

Амфиболиты метатолеитовой и известково-сланцевой формаций Павловской ЗК не контаминированы коровым веществом ($(\text{Nb}/\text{La})_N = 0,76\text{-}1,72$) и имеют положительное значение $\text{Nb} = +0,03\text{-}0,43$ (табл. 2), что указывает на их формирование из плюмового магматического источника, а на диаграмме $\text{Zr}/\text{Y}\text{-Nb}/\text{Y}$ их фигуративные точки попадают в поле океанических базальтов плато [Condie, 2005] (рис. 4). Амфиболиты нижней части метатолеитовой формации Павловской ЗК (обр. 92-133) близки по составу к толеитовым базальтам типа TH1 [Конди, 1983], а обр. 92-160 из ее верхней части сходен с составом TH2.

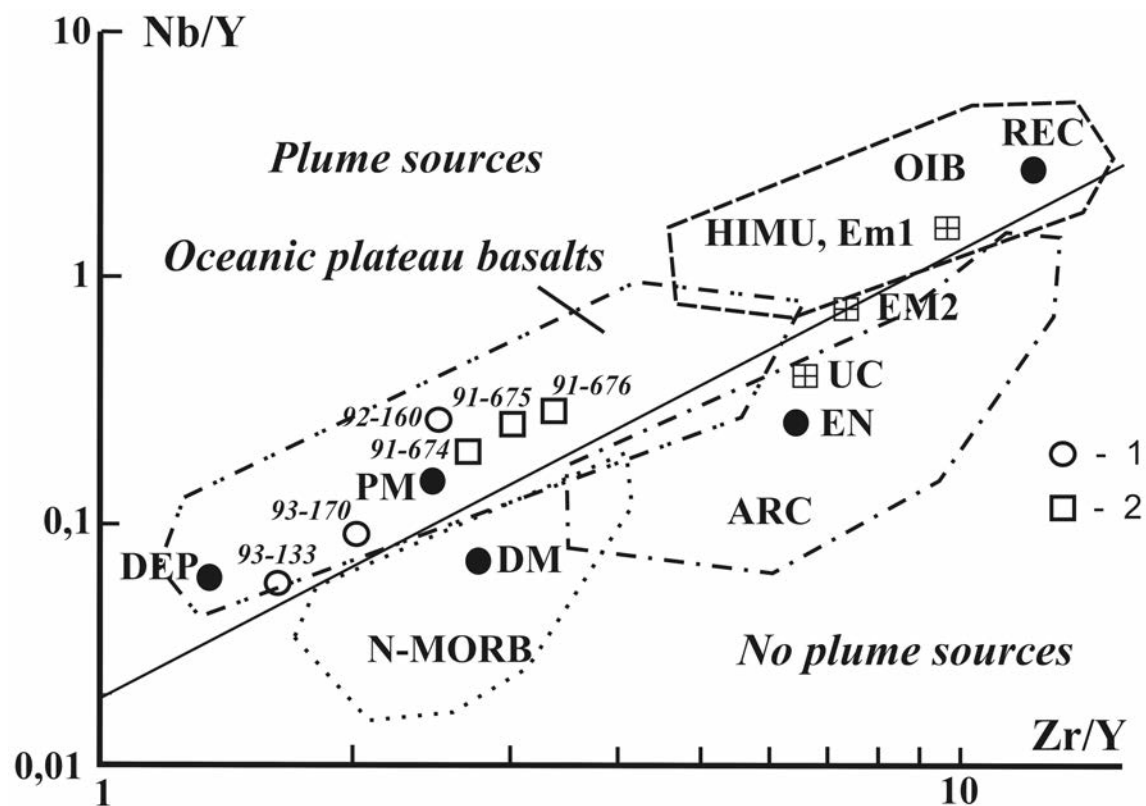


Рис. 4. Диаграмма $\text{Zr}/\text{Y}\text{-Nb}/\text{Y}$ [Condie, 2005] для метабазитов Павловской (1) и Зеленогайской (2) ЗК
Fig. 4. Diagramme $\text{Zr}/\text{Y}\text{-Nb}/\text{Y}$ [Condie, 2005] for metabasite Pavlovka (1) and Zeleniy Gay (2) GS

Таблица 2. Содержания элементов в породах Павловской и Зеленогайской ЗКС (ppm)
Table 2. Content of elements in rocks of Pavlovka and Zeleny Gay GS (ppm)

Элементы	1/92-133	7/92-170	4/92-160	9/92-164	18/91-678	26/91-674	27/91-675	28/91-676
Li	21,5	11,7	8,6	27,6	43,1	52,5	36,5	58,6
Be	0,59	0,38	0,63	0,78	2,9	0,90	1,4	1,5
Sc	48,9	46,3	50,2	16,4	3,4	33,4	31,1	30,3
V	338	191	288	133	32,4	220	195	179
Cr	57,2	227	38,9	27,3	40,0	114	74,8	115
Co	55,9	45,7	56,1	15,5	5,2	38,4	32,7	38,5
Ni	58,5	86,8	46,5	10,4	16,0	35,2	21,2	35,0
Cu	195	115	118	80,3	15,1	93,6	438	22,7
Zn	65,1	97,6	107	89,2	46,2	77,3	191	98,5
Ga	14,4	13,6	14,8	14,9	16,4	15,5	15,7	15,6
As	< ПО	0,22	0,18	1,8	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
Rb	22,4	6,8	7,6	51,1	173	58,7	91,9	72,7
Sr	235	223	144	640	357	498	524	428
Y	30,2	25,5	35,6	37,4	4,5	15,3	17,5	14,5
Zr	45,3	51,7	82,9	182	87,1	38,9	52,9	47,1
Nb	1,3	2,3	8,9	7,4	8,1	3,0	4,4	4,2
Mo	0,71	0,38	0,58	1,5	1,2	0,89	3,7	0,35
Ag	0,20	0,11	0,068	0,13	0,080	0,10	0,20	0,092
Cs	6,3	1,1	0,41	16,5	5,9	4,5	4,4	4,5
Ba	72,2	32,9	109	928	776	383	555	273
La	1,6	2,9	5,0	17,0	15,3	10,1	11,0	10,3
Ce	4,6	8,2	14,0	39,1	29,4	22,1	24,0	21,3
Pr	0,77	1,2	2,1	4,9	3,0	2,8	3,0	2,6
Nd	4,4	6,2	10,6	22,2	10,7	12,0	12,7	11,6
Sm	1,9	2,0	3,3	5,1	1,6	2,7	3,0	2,6
Eu	0,70	0,66	1,1	1,1	0,38	0,83	0,89	0,80
Gd	3,3	3,1	4,9	5,9	1,2	2,9	3,1	2,7
Tb	0,62	0,58	0,87	1,0	0,16	0,45	0,49	0,42
Dy	4,6	3,9	5,7	5,92	0,74	2,7	3,0	2,4
Ho	1,04	0,90	1,2	1,26	0,14	0,57	0,63	0,52
Er	3,3	2,9	3,9	3,9	0,40	1,7	1,8	1,5
Tm	0,49	0,43	0,58	0,59	0,062	0,24	0,27	0,22
Yb	3,4	3,0	3,8	4,0	0,39	1,6	1,8	1,5
Lu	0,54	0,43	0,55	0,59	0,071	0,24	0,28	0,23
Hf	1,5	1,4	2,4	5,2	2,5	1,3	1,7	1,4
Ta	0,089	0,18	0,54	0,51	0,70	0,22	0,32	0,34
W	0,68	0,74	0,47	1,2	0,37	1,0	1,5	0,26
Pb	4,8	3,9	1,5	9,9	32,4	11,8	49,9	16,2
Th	0,17	0,45	1,0	3,9	8,3	1,8	2,9	2,7
U	0,14	0,16	0,29	1,4	3,8	0,51	1,4	0,93
ΣREE	31,26	36,4	57,6	112,56	63,543	60,93	65,96	58,69
(La/Yb) _N	0,34	0,69	0,94	3,05	28,14	4,5	4,38	4,93
Eu/Eu*	0,86	0,81	0,84	0,61	0,84	0,91	0,90	0,92
(Nb/La) _N	0,78	0,76	1,72	0,42	0,51	0,29	0,39	0,39
ΔNb	+0,0358	+0,106	+0,433	–	–	+0,254	+0,218	+0,220

Примечание. Привязки даны в табл. 1.

Note. Position are shown in the Table 1.

Биотит-амфиболовые микрогнейсы известково-сланцевой формации (обр. 92-164) отличаются от амфиболитов этой же формации большим содержанием РЗЭ ($\Sigma\text{REE} = 112,56 \text{ ppm}$). Обогащены легкими РЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 3,05$) (рис. 3), имеют отрицательную европиевую аномалию ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,61$). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr.

Зеленогайская ЗКС. Среди вулканитов Зеленогайской ЗКС по химическому составу выделяются породы основного, среднего и кислого составов, которые отнесены к метадацит-андезит-базальтовой формации (ДАБ) [Бородиня та ін., 2007; Стрекозов, Груба, 1993]. Нами изучены геохимические характеристики амфиболитов (обр. 91-674, 91-675, 91-676) и секущее тело лейкократовых гранитов (обр. 91-678).

По петрогеохимическим характеристикам амфиболиты Зеленогайской ЗКС резко отличаются от амфиболитов Павловской ЗКС. По химическому составу ($\text{SiO}_2 = 47,04\text{--}52,60\%$; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} = 3,35\text{--}5,30\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,90\text{--}3,01\%$) – это основные породы нормального ряда, натриевой и калиево-натриевой серий [Магматические..., 1983] (табл. 1). Низкомагнезиальные ($\#mg = 0,43\text{--}0,53$).

Амфиболиты Зеленогайской ЗКС представляют собой особый тип базитов Приазовья. Они относятся к наиболее лейкократовым разновидностям базитов и в большей степени насыщены калием. По сравнению с амфиболитами Павловской ЗКС они менее известковистые.

На диаграмме АФМ фигуративные точки (преобладающая часть) амфиболитов Зеленогайской ЗКС попадают в поле известково-щелочной серии и два образца – в поле толеитовой серии (обр. 1403А-111 и 1392А-11).

На тройной диаграмме Дженсена ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}_{\text{tot}}+\text{TiO}_2\text{--MgO}$) [Jensen, 1976] точки метабазитов Зеленогайской ЗКС расположены в поле высокожелезистых толеитов.

Содержание РЗЭ – ($\Sigma\text{REE} = 58,69\text{--}65,96 \text{ ppm}$). График распределения РЗЭ сильно дифференцированный – ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 4,38\text{--}4,93$) (рис. 3). По геохимическим характеристикам они сходны с архейскими базальтами типа ТН2 Конди [Конди, 1983].

На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr. На диаграмме $\text{La}/10\text{--Y}/15\text{--Nb}/8$ [Cabanis, Lecolle, 1989] фигуративная точка амфиболитов Зеленогайской ЗКС попадает в поле известково-щелочных базальтов.

Амфиболиты Зеленогайской ЗКС контактированы коровым веществом ($(\text{Nb}/\text{La})_N = 0,29\text{--}0,39$). Они имеют положительное значение $\text{Nb} = +0,22\text{--}0,25$, что указывает на их формирование из плюмового магматического источника (табл. 2), а на диаграмме $\text{Zr}/\text{Y}\text{--Nb}/\text{Y}$ [Condie, 2005] их фигуративные точки попадают в поле океанических базальтов плато (рис. 4).

Лейкократовые граниты (2480 Ма), прорывающие амфиболиты Зеленогайской ЗКС (проба 91-678), по химическому составу ($\text{SiO}_2 = 70,46\%$; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} = 6,20\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,6$) (табл. 1) соответствуют семейству низкощелочных гранитов нормального ряда, калиево-натриевой серии [Магматические..., 1983]. На классификационной диаграмме $\text{Ab}\text{--An}\text{--Or}$ их фигуративная точка попадает в поле гранодиоритов. Отличаются повышенной магнезиальностью ($\#mg = 0,48$), весьма высокоглиноземистые ($al = 5,26$). Имеют умеренное содержание Rb (173 ppm) и высокое – Sr (357 ppm) (табл. 2). В них высокое содержание Cr (40 ppm). Содержание высокозарядных элементов низкое: Y (4,5 ppm), Nb (8,1 ppm), Yb (0,39 ppm), Ta (0,70 ppm). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb и положительные – Zr, Hf и Ti. График распределения РЗЭ сильно дифференцированный – ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 28,14$) (рис. 3). Характеризуются высоким отношением Sr/Y (79,3). В рестите их магматического источника были гранат и/или роговая обманка. На диаграмме $\text{Rb}\text{--}(\text{Y}+\text{Nb})$ попадают в поле синколлизонных гранитов.

Выводы

Павловская и Зеленогайская ЗКС отличаются от других ЗКС Приазовского мегаблока отсутствием вулканитов ультраосновного состава. Метабазиты Павловской ЗКС относятся к толеитовой серии и обнаруживают тренд обогащения железом, а метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к известково-щелочной серии. Снизу вверх по

разрезу в метабазах метатолеитовой формации Павловской ЗКС увеличивается железистость, титанистость, содержание РЗЭ и уменьшается глиноземистость. Метабазиты нижней части разреза метатолеитовой формации относятся к типу N-MORB, а верхней – к E-MORB. Последние отличаются положительной Nb аномалией ($Nb/Nb^* = 1,35$). Метабазиты Зеленогайской ЗКС принадлежат к наиболее лейкократовым разновидностям базитов и относятся к

типу известково-щелочных базальтов. Согласно геохимическим данным, метабазиты Павловской и Зеленогайской ЗКС Восточного Приазовья образовались из плюмовых магматических источников ($Nb = +0,03-0,43$). Присутствие в разрезе Зеленогайской ЗКС андезитов может указывать на их формирование в островодужном режиме в отличие от рифтогенных ЗКС Западноприазовского блока.

Список литература / References

1. Артеменко Г.В., Самборская И.А. Геохимические отличия перидотитовых и пироксенитовых коматиитов зеленокаменных поясов Приазовского и Среднеприднепровского мегаблоков Украинского щита. *Минерал. журн.* 2009. Т. 31, № 2. С. 13-19.

Artemenko G.V., Samborskaya I.A., 2009. Geochemical differences between peridotite and pyroxenite komatiites of greenstone belts of Azov and Middle-Dnieper megablocks of Ukrainian Shield. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 31, № 2, p. 13-19 (in Russian).

2. Артеменко Г.В., Шумлянский Л.В., Швайка И.А. Позднепалеоархейские тоналитовые гнейсы Западно-Приазовского блока (Приазовский мегаблок Украинского щита). *Геол. журн.* 2014. № 4 (349). С. 91-102.

Artemenko G.V., Shymlanskiy L.V., Schweika I.A., 2014. Late paleoarchean tonalite gneisses of West-Azov block (Priazov megablock of Ukrainian Shield). *Geologichnyy zhurnal*, № 4 (349), p. 91-102 (in Russian).

3. Бибикина Е.В., Клаэссен С., Федотова А.А., Артеменко Г.В., Ильинский Л. Терригенный циркон архейских зеленокаменных поясов – источник информации о ранней коре Земли: Приазовье и Приднепровье, Украинский щит. *Геохимия*. 2010. № 9. С. 899-916.

Bibikova E.V., Claesen C., Fedotova A.A., Artemenko G.V., Ilyinskiy L., 2010. Terrigenous zircon of Archean greenstone belts - a source of information about the early Earth's crust: Azov and Dnieper region, The Ukrainian Shield. *Geokhimiya*, № 9, p. 899-916 (in Russian).

4. Божко Н.А. Геотектонические факторы локализации коренных источников алмаза и их роль в оценке перспектив алмазоносности Украинского щита. *Минерал. журн.* 2013. Т. 35, № 2. С. 24-38.

Bozhko N.A., 2013. Geotectonic factors localization of primary sources of diamond and their role in assessing the prospects of the Ukrainian Shield

diamondbearing. *Mineralogichnyy zhurnal*, vol. 35, № 2, p. 24-38 (in Russian).

5. Бородиня Б.В., Князькова И.Л., Иваненко Т.Я., Кисельов В.А. Звіт про геологічне вивчення надр. Геологічне довивчення площ масштабу 1:200 000 південних половин аркушів L-37-II (Донецьк), L-37-III (Іловайськ) в межах України та аркушів L-37-VIII (Маріуполь) і L-37-IX (Таганрог) в межах України за виліком акваторії Азовського моря (Східноприазовська площа). Фонди Приазовської КГЕ, 2007 р.

Borodyny B.V., Knyazkova I.L., Ivanenko T.Y., Kiselev V.A., 2007. The report about geological investigation bowels of the Earth. Geological additional exploration of Area in scale 1: 200 000 south half of sheet L-37-II (Donezk), L-37-III (Ilovaysk) within Ukraine and the sheet L-37-VIII (Mariupol) and L-37-IX (Taganrog) within Ukraine with the exception of water area of Azov sea (East-Azov area). Funds of Azov KGE (in Russian).

6. Васильченко В.В., Киселев В.А. и др. Отчет Донского ГСО о результатах глубинного геологического картирования м-ба 1 : 50 000, проведенного в 1985-1989 гг. на Октябрьской площади. Волноваха, 1989. 241 с.

Vasilchenko V.V., Kiselev V.A. et al., 1989. The report on the results of the Don GEU about deep geological mapping in scale of 1: 50000 on October Area. Volnovaha, 241 p. (in Russian).

7. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. Москва: Мир, 1983. 390 с.

Condi K. Archean greenstone belts. Moscow: Mir, 1983. 390 p. (in Russian).

8. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. Москва: Наука, 1983. Т. 1. Ч. 2. С. 366-767.

Igneous rocks. Classification, nomenclature, petrography. Moscow: Nauka, 1983, vol. 1, part 2, p. 366-767 (in Russian).

9. Стрекозов С.Н., Груба В.В. Геологическое строение и полезные ископаемые Павловской

площади Восточного Приазовья. Отчет Павловского ГСО о результатах глубинного геологического картирования м-ба 1 : 50 000, проведенного в 1989-1993 гг. Листы L-37-3-B-г, -3-Г-в, -15-A-б, -15-B-а, б. Волноваха, 1993.

Strekozov S.N., Gruba V.V., 1993. The geological structure and minerals of Pavlovka Area of Eastern Azov area. The report of Pavlovka GEU about results of the deep geological mapping in scale of 1: 50,000. Sheets L-37-3-B-г, -3-Г-в, -15-A-б, -15-B-а, б. Volnovaha (in Russian).

10. Татарінова О.О., Шпильчак В.А., Бартницький Є.М. Вік Зеленогайської та Павлівської зеленокам'яних структур (Приазовський мегаблок). *Вісник КНУ імені Тараса Шевченка*. 2002. № 21-22. С. 82-84.

Tatarinova O.O., Shpilchak V.A., Bartnizky E.M., 2002. The age of Zeleny Gay and Pavlovka greenstone structures (Priazov megablock). *Visnyk Kyivskogo Natsionalnogo Universitetu imeni Tarasa Shevchenka*, № 21-22, p. 82-84 (in Ukrainian).

11. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mѐlanges et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Ser. II*. 1989. Paris, Vol. 309, P. 2023-2029.

Cabanis B., Lecolle M., 1989. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mѐlanges et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Ser. II*. Paris, vol. 309, p. 2023-2029 (in France).

12. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving

sources of mantle plumes? *Lithos*. 2005. Vol. 79. P. 491-504.

Condie K.C., 2005. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, vol. 79, p. 491-504 (in English).

13. Jensen L.S. A. New Cation Plot for Classifying Subalkaline Volcanic Rocks: Ontario, 1976. Div. Mines, MP66, 22 p.

Jensen L.S. A., 1976. New Cation Plot for Classifying Subalkaline Volcanic Rocks: Ontario. Div. Mines, MP66, 22 p. (in English).

14. Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W. Nb-Th-La in komatiites and basalts; constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1991. Vol. 107. P. 272-289.

Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W., 1991. Nb-Th-La in komatiites and basalts; constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 107, p. 272-289 (in English).

15. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magma-tism in the Ocean Basins*: / A.D. Saunders, M.J. Norry, 1989 (Geol. Soc. Spec. Publ.; No 42).

Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magma-tism in the Ocean Basins*: / A.D. Saunders, M.J. Norry, 1989 (Geol. Soc. Spec. Publ.; No 42) (in English).

Стаття надійшла

11.01.2016

ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНІСТЬ ПІСКОВИКІВ ТЯГЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО ВУГЛЕНОСНОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ

А.В. Побережський¹, І. В. Бучинська², П.М. Явний³, О.М. Шевчук⁴

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук М.І. Євдошуком)

¹ *Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,*

E-mail: igggk@mail.lviv.ua

Кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора ІГГГК НАН України, завідувач відділу геології і геохімії твердих горючих копалин.

² *Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України. Львів, Україна,*

E-mail: ibuchynska@ukr.net

Кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник.

³ *Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,*

E-mail: igggk@mail.lviv.ua

Молодший науковий співробітник.

⁴ *Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,*

E-mail: igggk@mail.lviv.ua

Молодший науковий співробітник.

Вивчалися вуглевмісні пісковики Тяглівського родовища Львівсько-Волинського басейну (ЛВБ). Комплекс досліджень з прогнозування їхньої викидонебезпечності проводився за геологорозвідувальними та геолого-геофізичними даними. До уваги бралися свердловини, що розкривають породи, які залягають глибше 700 м, оскільки доведено, що в умовах ЛВБ на менших глибинах викиди не відбуваються. Визначено основні петрографічні показники, які впливають на викидонебезпечність пісковиків (кількість уламкового і регенераційного кварцу, слюдисто-глинистих мінералів, розмір уламкових зерен, протяжність та тип контактів між зернами). Ґрунтуючись на обчисленому комплексному критерії викидонебезпечності «В», побудовані поперечні профілі вугленосної товщі з виділенням викидонебезпечних («В» < 0,4), низького ступеня викидонебезпечності (0,4 < «В» < 0,6), викидонебезпечних (0,6 < «В» < 1,0) пісковиків. Тяглівське родовище є найбільш газоносним у межах ЛВБ. При дослідженні нами встановлено, що пісковики n_6 ¹Sn₇, n_8 Sn₉, n_9 Sb₄ є потенційно викидонебезпечними і в той же час можуть бути хорошими колекторами супутнього газу метану.

Ключові слова: Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн, Тяглівське родовище, пісковики, викидонебезпечність, газоносність.

OUTBURST HAZARD OF SANDSTONES OF THE TYAGLIV FIELD OF THE SOUTH-WESTERN COAL REGION OF THE LVIV-VOLYN BASIN

A.V. Poberezhskyy¹, I.V. Buchynska², P.M. Yavny³, O.M. Shevchuk⁴

(Recommended by doctor of geological-mineralogical sciences M.I. Yevdochuk)

¹ *Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine,*

E-mail: igggk@mail.lviv.ua

Candidate of geological-mineralogical sciences, senior scientific worker, deputy director of the Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, head of the department of geology and geochemistry of solid combustible minerals.

² *Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine,*

E-mail: ibuchynska@ukr.net

Candidate of geological-mineralogical sciences, senior scientific worker, senior scientific worker.

© А.В. Побережський, І.В. Бучинська, П.М. Явний, О.М. Шевчук, 2016

³ *Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine,*
E-mail: igggk@mail.lviv.ua
Junior scientific worker.

⁴ *Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine,*
E-mail: igggk@mail.lviv.ua
Junior scientific worker.

We have investigated coal-bearing sandstones of the Tyagliv field of the Lviv-Volyn Basin (LVB). The complex of investigations on prediction of their outburst hazards has been conducted on the basis of geological-prospecting and geological-geophysical data. A special attention was paid to the wells that expose rocks occurred at a depth of over 700 m because it was proved that in the conditions of the LVB outbursts are absent at lesser depths. We have determined main petrographic indications that have an influence upon outburst hazard of sandstones (the amount of clastic and regenerative quartz, micaceous-clayed minerals, the size of clastic grains and extension and the type of contacts between the grains). On the basis of the calculated complex criterion of outburst hazard "B" it was possible to construct transverse profiles of the coal-bearing series with singling out of outburst-safe ($\langle B \rangle < 0.4$), low degree of outburst hazard ($0.4 < \langle B \rangle < 0.6$), outburst-hazardous ($0.6 < \langle B \rangle < 1.0$) sandstones. The Tyagliv field is the most gas producing one within the limits of the Lviv-Volyn Basin. While studying we have determined that sandstones $n_6^1Sn_7$, $n_8 Sn_9$, n_9Sb_4 are potentially outburst-hazardous ones and at the same time they may be good collectors of accompanying gas-methane.
Key words: Lviv-Volyn Basin, Tyagliv field, sandstones, gas presence, outburst risks.

ВЫБРОСОПАСНОСТЬ ПЕСЧАНИКОВ ТЯГЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО УГЛЕНОСНОГО РАЙОНА ЛЬВОВСКО-ВОЛЫНСКОГО БАСЕЙНА

А.В. Побережский¹, И.В. Бучинская², П.М. Явный³, Е.М. Шевчук⁴

(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук Н.И. Евдошук)

¹ *Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, Львов, Украина,*
E-mail: igggk@mail.lviv.ua
Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора ИГГТИ НАН Украины, заведующий отделом геологии и геохимии твердых горючих ископаемых.

² *Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, Львов, Украина,*
E-mail: ibuchynska@ukr.net
Кандидат геологических наук, старший научный сотрудник.

³ *Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, Львов, Украина,*
E-mail: igggk@mail.lviv.ua
Младший научный сотрудник.

⁴ *Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, Львов, Украина,*
E-mail: igggk@mail.lviv.ua
Младший научный сотрудник.

Изучались угленосные песчаники Тягловского месторождения Львовско-Волынского бассейна (ЛВБ). Комплекс исследований по прогнозированию их выбросоопасности проводился по геологоразведочным и геолого-геофизическим данным. Рассматривались скважины, которые раскрывают породы, залегающие глубже 700 м, поскольку доказано, что в условиях ЛВБ на меньших глубинах выбросы не происходят. Определены основные петрографические показатели, влияющие на выбросоопасность песчаников (количество обломочного и регенерационного кварца, слюдисто-глинистых минералов, размер обломочных зерен, протяжение контактов между зернами). Основываясь на вычисленном комплексном критерии выбросоопасности «В», построены поперечные профили угленосной толщи с выделением выбрособезопасных ($\langle B \rangle < 0,4$), низкой степени выбросоопасности ($0,4 < \langle B \rangle < 0,6$), выбросоопасных ($0,6 < \langle B \rangle < 1,0$) песчаников. Тягловское месторождение наиболее газоносное в пределах ЛВБ. При исследованиях установлено, что песчаники $n_6^1Sn_7$, $n_8 Sn_9$, n_9Sb_4 потенциально выбросоопасные и одновременно могут быть хорошими коллекторами сопутствующего газа метана.
Ключевые слова: Львовско-Волынский каменноугольный бассейн, Тягловское месторождение, песчаники, выбросоопасность, газоносность.

Викиди гірських порід – динамічне явище, що виникає в результаті дії статичних і динамічних напруг у газонасичених породах. Воно досить небезпечне, адже приводить до значного зниження продуктивності і безпеки праці, зменшує темпи та ускладнює технологію проведення геологічних виробок і, відповідно, збільшує час побудови глибоких шахт. Газонасиченість та диференційно-напружений стан породного масиву разом з технологією проведення виробок є основними чинниками, в результаті взаємодії яких можуть відбуватися викиди породи і газу. Узагальнюючими комплексними характеристиками викидонебезпечності порід є їхній літогенетичний тип, ступінь катагенетичного перетворення та глибина залягання [Забигайло и др., 1983]. Встановлено, що викиди відбуваються в пісковиках фації русел (Р), підводних виносів рік (ПВР), прибережно-морських (ПМ), що містять вугілля марок Г, Ж, К, ПС. Глибина є показником пружного стану гірського масиву. Вона має суттєвий вплив на фізико-механічні властивості породи і знаходиться в кореляційному зв'язку з тиском газів, газонадмірністю та вологістю гірських порід [Забигайло и др., 1990].

Основні показники викидонебезпечності можна поділити на дві групи [Забигайло и др., 1983]: 1) характеристики властивостей порід – ступінь метаморфізму, генетичний тип пісковика, кількість уламкового і регенераційного кварцу та глинисто-слюдистих мінералів, середньозважений розмір зерен, протяжність контактів, відкрита пористість; 2) характеристики напруженого стану породи – межа міцності на розрив, модуль Юнга, тиск газу, глибина залягання. Викидонебезпечність для однакових генетичних типів порід з рівними катагенетичними перетвореннями зростає зі збільшенням кількості уламкового і регенераційного кварцу, зі збільшенням розміру кварцових зерен та протяжності контактів між породотворними мінералами, зі збільшенням пористості, глибини залягання, сорбційної метаноємності і ступеня наповненості пор газом та зі зменшенням межі міцності на розрив і значенням модуля Юнга. Комплексний критерій викидонебезпечності «В» – це середньоарифметичне критеріїв, що розраховується на основі вивчення показників першої та другої під-

груп. Встановлюються ранги викидонебезпечності, які є середньоарифметичним для рангів кожної групи.

У випадках, коли комплексний показник «В» дорівнює або більший за 0,6, породи вважаються викидонебезпечними. В процесі проведення гірських виробок у таких породах можна очікувати викиди малої, середньої та великої сили. При величині критерію викидонебезпечності «В» у межах 0,4–0,6 породи відносяться до низького ступеня викидонебезпечності. Отже, у вуглепородному масиві можуть відбуватися мікрówkiди малої сили. При значенні критерію менше за 0,4 породи є викидодобезпечними.

Вуглепородний масив Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (ЛВБ) – це відклади вугленосної формації турнейського, візейського, серпуховського і башкирського ярусів карбону. Вони мають ритмічну будову з чергуванням порід від морських до континентальних. При видобуванні покладів викиди вугілля, породи і газу не спостерігалися, хоча є відомості про суфлярні виділення метану для групи Великомоствських шахт (Степова, 1-Червоноградська, 2-Червоноградська та ін.). За метанонадмірністю гірських виробок ці шахти віднесені до надкатегорійних.

Тяглівське родовище є найбільш газоносним у ЛВБ. Воно розташоване в північно-східній частині Південно-Західного вугленосного району і становить особливий інтерес, оскільки в безпосередній близькості у відкладах пізньодевонського віку знаходиться Великомоствське газове родовище, яке може бути додатковим джерелом підпливу газу. Природну газоносність вугільних пластів Тяглівського родовища за невеликою кількістю газових аналізів вперше охарактеризовано у геолого-промислому нарисі [Струев и др., 1984]. Детальніше питання метаносності Тяглівського родовища висвітлено в тематичних дослідженнях Південно-Західного вугленосного району [Лелик та ін., 2000; Іванців та ін., 2000; Явний та ін., 2009]. В працях [Забигайло и др., 1990; Грещак та ін., 1991; Грещак та ін., 1993] підкреслено доцільність проведення дослідно-промислових робіт з метою видобування метану зі свердловин родовища.

Комплекс досліджень з прогнозування викидонебезпечності пісковиків проводився з використанням методу регіонального прогнозу викидонебезпечності за геологорозвідувальними та геолого-геофізичними даними [Временное..., 1973; Забигайло и др., 1985]. До уваги бралися свердловини, що розкривають породи, які залягають глибше 700 м, оскільки доведено, що в умовах ЛВБ на менших глибинах викиди не відбуваються.

Основними петрографічними показниками, що впливають на викидонебезпечність пісковиків, є кількість уламкового і регенераційного кварцу, слюдисто-глинистих мінералів, розмір уламкових зерен та протяжність і тип контактів між зернами. Всі ці показники вказують на «жорсткість каркасу» пісковика, яка сприяє виникненню викидів. В табл. 1 наведено середні значення петрографічних показників викидонебезпечності, що характеризують речовинний склад пісковиків Тяглівського родовища.

Нами розглянуто три поперечних розрізи, які характеризують викидонебезпечність порід у північній, середній і південній частинах родовища (рис. 1). За проведеними розрахунками величина комплексного показника «В» як основного критерію викидонебезпечності змінюється від 0,16 до 0,75.

Розріз I–I* у північній частині Тяглівського родовища (рис. 2) відображає прогнозну викидонебезпечну ситуацію пісковиків, що залягають в інтервалі вугільних пластів n_7^1 – b_2 , і побудований через св. 6711, 6713, 6738, 6576, 6608, 6675, 6586, 6633.

Пісковик, який залягає під вугільним пластом n_7^1 , доволі витриманий в цій частині розрізу, його товщина змінюється від 25 м в осьовій частині прогину до 5–10 м по краях. Цей пісковик залягає поблизу основних вугільних пластів n_7 , n_7^1 і прогнозується як один з найнебезпечніших по викидах на Тяглівському родовищі. Він містить в основному шари низького ступеня викидонебезпечності («В» = 0,4–0,58), а по св. 6713 і 6738 – лінзи викидонебезпечного пісковика («В» = 0,62) потужністю 10–12 м. Глибини залягання викидонебезпечних різновидів цього пісковика – від 700 до 900 м. В центральній найбільш зануреній ділянці родовища цей пісковик є безпечним («В» = 0,14–0,24).

Пісковики в інтервалі між вугільними пластами n_7^1 і n_8^B є малопотужними – до 2-5 м, часто виклинюються і безпечні по викидах. Окремі лінзи в інтервалі глибин 700–710 м мають показник «В», який дорівнює 0,41. В східному крилі синкліналі товщина пісковика досягає 25 м. Він залишається викидонебезпечним.

Таблиця 1. Основні петрографічні показники викидонебезпечності пісковиків Тяглівського родовища ЛВБ

Table 1. Main petrographic indications of outburst hazard of sandstones of the Tyagliv field of the Lviv-Volyn Basin

Марка вугілля	Інтервал глибин, м	Геологічні показники викидонебезпечності	Інтервал змін показників Середньоарифметичне
Г–ГЖ	650–950	Кварц уламковий, %	$\frac{33,0-890,0}{56,1}$
		Кварц регенераційний, %	$\frac{0-5,5}{1,97}$
		Слюдисто-глинисті мінерали, %	$\frac{5,0-51,0}{28,0}$
		Середньозважений розмір, мм	$\frac{0,09-0,36}{0,18}$
		Протяжність контактів	$\frac{0-0,43}{0,20}$

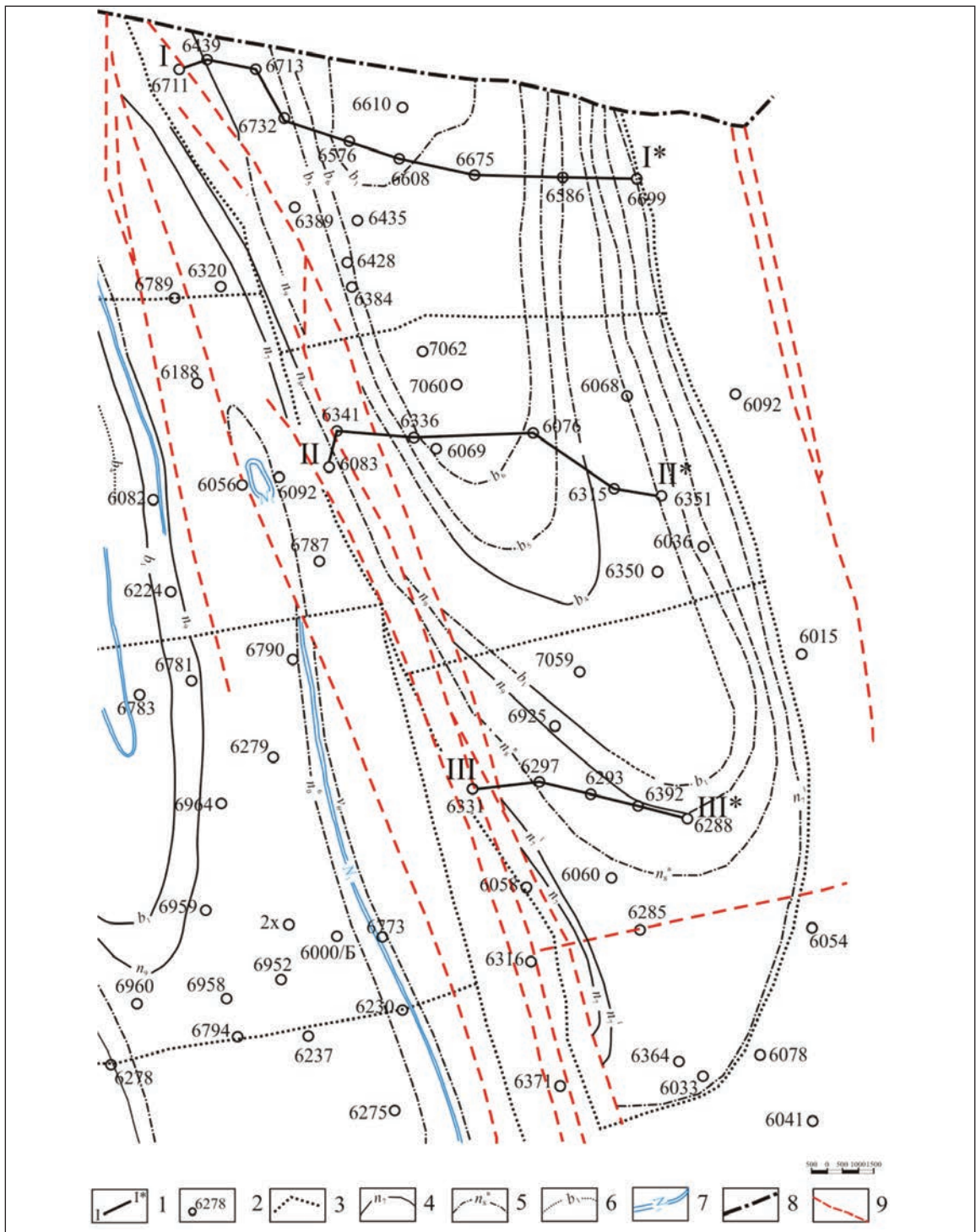


Рис. 1. Геологічна карта Тяглівського родовища ЛВБ (за матеріалами [Забигайло и др., 1990])
 1 – лінія розрізу; 2 – номер свердловини; 3 – межі шахтних полів; 4-6 – вугільні пласти; 7 – вапняк; 8 – державний кордон; 9 – тектонічні порушення

Fig. 1. Geological map of the Tyagliv field of the Lviv-Volyn Basin (based on materials of [Забигайло и др., 1990])
 1 – line of section; 2 – number of borehole; 3 – boundaries of mine fields; 4-6 – coal seams, 7 – limestone; 8 – state border; 9 – tectonic dislocation

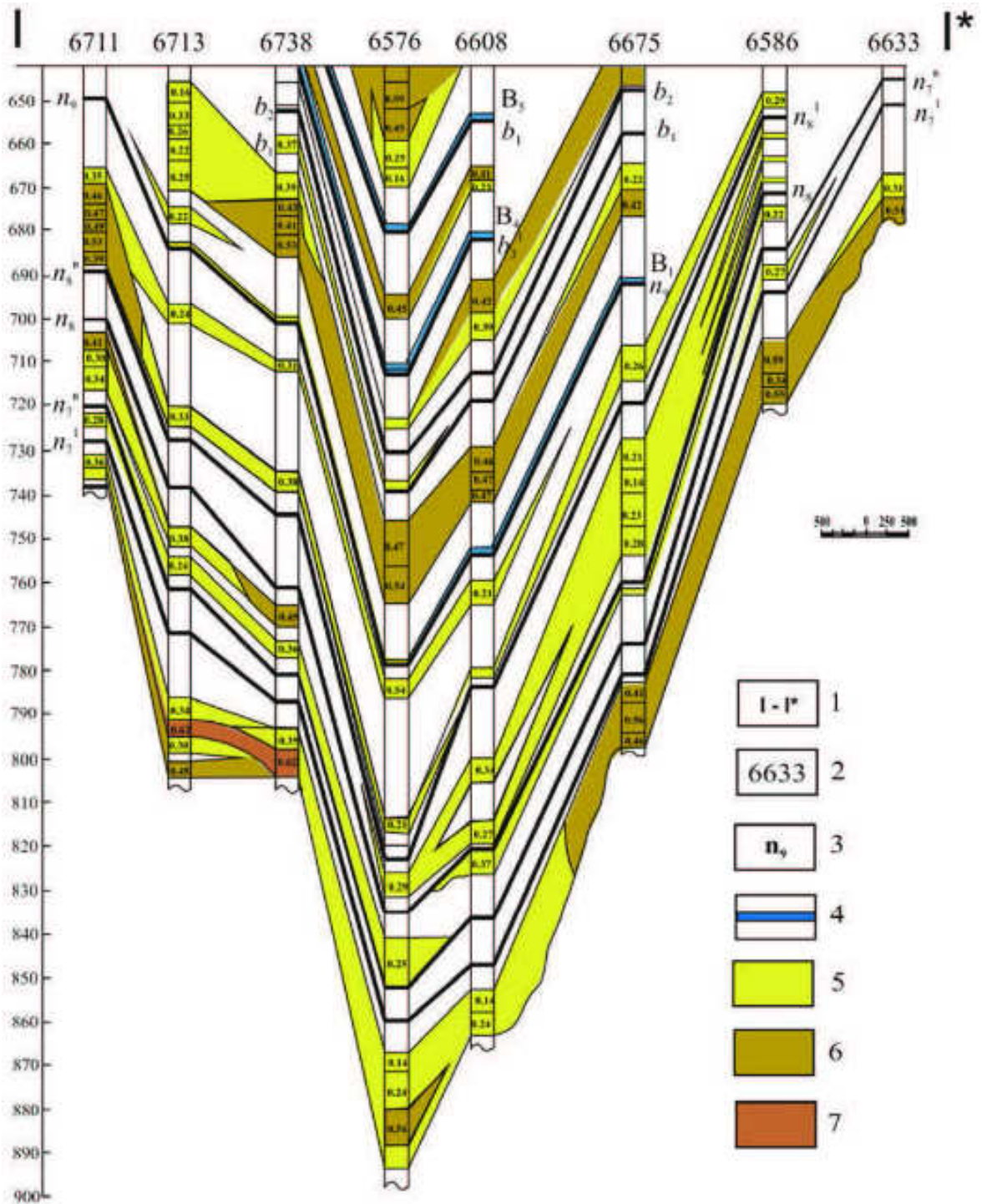


Рис. 2. Літолого-стратиграфічний розріз з викиднебезпечною ситуацією по профілю I-I* (за матеріалами [Забигайло и др., 1990])

1 – номер профілю; 2 – номер свердловини; 3 – вугільний пласт; 4 – вапняк; 5 – викидобезпечний пісковик («В» < 0,4); 6 – пісковик низького ступеня викиднебезпечності (0,4 < «В» < 0,6); 7 – викиднебезпечний пісковик (0,6 < «В» < 1,0)

Fig. 2. Lithologic-stratigraphic section with situation of outburst hazard along the profile I-I* (based on materials of [Забигайло и др., 1990])

1 – number of profile; 2 – number of borehole; 3 – coal seam; 4 – limestone, 5 – outburst-safe sandstone («В» < 0.4); 6 – sandstone of low outburst hazard (0.4 < «В» < 0.6); 7 – outburst-hazardous sandstone (0.6 < «В» < 1.0)

Пісковик $n_8^B Sn_9$ не витриманий по площі. В західному крилі синкліналі він досить потужний (до 20 м), а в східному – розщеплюється на декілька пачок. Максимальні показники викидонебезпечності («В» = 0,39–0,53) властиві західному крилу і зафіксовані на глибині 665–690 м.

Пісковик $n_9 Sb_1$ у північно-західній частині Тяглівського родовища найбільш витриманий і досягає максимальної потужності 23–28 м. На цій ділянці він має низький ступінь викидонебезпечності («В» = 0,40–0,54). В решті розрізу цей пісковик безпечний.

Пісковики, що залягають в інтервалі вугільних пластів $b_1 Sb_3^1$, малопотужні (до 10–15 м) і характеризуються чергуванням шарів низького ступеня викидонебезпечності («В» = 0,41–0,59) із безпечними.

Розріз II–II* розташований в центральній частині Тяглівського родовища і проходить через св. 6083, 6341, 6336, 6079, 6315, 6351 (рис. 3). Пісковики, що досліджувалися, знаходяться в інтервалі залягання вугільних пластів $n_1^2 - b_1$. Пісковики до пласта n_7 переважно малопотужні і невитримані по простяганню. Вони характеризуються змінною викидонебезпечністю. Деякі малопотужні прошарки в окремих свердловинах на глибині 750–800 м є викидонебезпечними («В» = 0,58–0,70), а більшість пісковиків має низький ступінь викидонебезпечності («В» = 0,41–0,58) або є безпечними («В» < 0,4).

Вище вугільного пласта n_7 пісковики стають витриманими за товщиною, яка не перевищує 10 м. Загалом викидонебезпечна ситуація залишається незмінною. Більшість прошарків пісковиків має низький ступінь викидонебезпечності («В» = 0,43–0,57) або є безпечними («В» < 0,4).

Пісковики, що залягають в інтервалі вугільних пластів $b_1 Sb_3^1$, малопотужні (до 10–15 м) і характеризуються чергуванням шарів низького ступеня викидонебезпечності («В» = 0,41–0,57) із викидонебезпечними («В» = 0,64) і безпечними («В» = 0,29–0,37).

Розріз III–III* (рис. 4) знаходиться в південній частині родовища і проходить через св. 6331, 6297, 6293, 6292, 6288. Цей розріз характеризує ситуацію з викидонебезпечністю пісковиків в інтервалі залягання від вугільного пласта v_5^5 до вапняку N_3 . Кам'яновугільні відклади Тяглівського родовища

занурюються з півдня на північ. Пісковики, що залягають в інтервалі $V_6 - N_1^2$, відрізняються невеликою потужністю і є невитриманими по простяганню. Переважно це викидонебезпечні пісковики («В» < 0,4). В західному крилі синкліналі у св. 6292 і 6288 спостерігаються лінзи пісковиків низького ступеня викидонебезпечності («В» = 0,46–0,58).

Для пісковика $N_1^2 Sn_1^1$ прогнозується низький ступінь викидонебезпечності («В» = 0,46–0,58). В західному крилі синкліналі св. 6288 розкрила більш викидонебезпечну лінзу товщиною до 6 м («В» = 0,64).

Пісковик $n_4 Sn_5^1$ – один із найпотужніших (в середньому 25–30 м), досить витриманий по розрізу III–III'. В св. 6293 розщеплюється на три прошарки. Переважно прогнозується як пісковик низького ступеня викидонебезпечності («В» = 0,48–0,57), а по св. 6293, 6292, 6288 в нижній і середній пачках відмічається викидонебезпечний шар потужністю до 10 м («В» = 0,68–0,71).

Отже, за нашими прогнозами найбільш викидонебезпечними на Тяглівському родовищі є пісковики $n_4 Sn_5^1$, $n_6^1 Sn_7$, $n_8 Sn_9$, $n_9 Sb_4$. Три останні з перерахованих за попередніми дослідженнями є найбільш пористими і газоносними у цьому родовищі (табл. 2). Це пісковики ПВР і Р, які за петрографічними характеристиками відносяться до викидонебезпечних (табл. 3).

Якісний аналіз газової суміші при дослідженні газоносності пісковиків проведено для обмеженої кількості свердловин. Для зіставлення викидонебезпечності пісковиків

Таблиця 2. Характеристика викидонебезпечних пісковиків Тяглівського родовища [Бучинська, 2010]

Table 2. Characteristics of outburst hazardous sandstones of the Tyagliv field [Бучинська, 2010]

Пісковики	Пористість, %	Проникність, мД	Газоносність, м ³ /м ³
$n_9 Sb_4$	$\frac{1,0-11,6}{5,3}$	$\frac{0,01-0,12}{0,04}$	$\frac{0,3-12,3}{3,3}$
$n_8 Sn_9$	$\frac{1,6-7,4}{3,4}$	$\frac{0,01-0,12}{0,016}$	$\frac{0,4-8,3}{2,8}$
$n_0^6 Sn_7$	$\frac{1,0-9,6}{3,1}$	$\frac{0,01-0,04}{0,014}$	$\frac{0,3-5,6}{1,8}$

Примітка: в чисельнику – інтервал змін показників (min-max); у знаменнику – середньоарифметичне значення

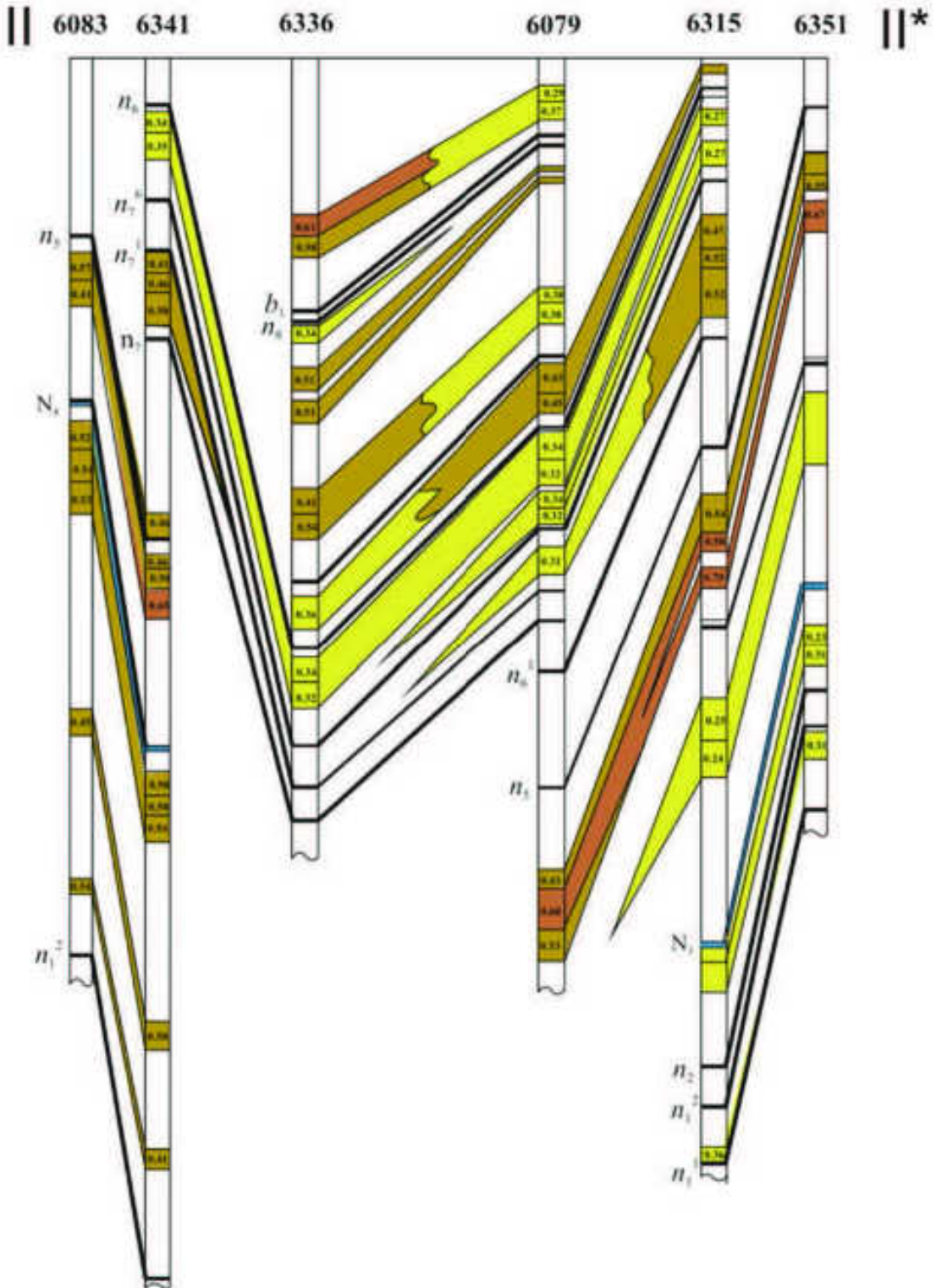


Fig. 3. Lithologic-stratigraphic section with situation of outburst hazard along the profile II-II* (based on materials of [Забигайло и др., 1990])
 Умов. позначення див. на рис. 2

Fig. 3. Lithologic-stratigraphic section with situation of outburst hazard along the profile II-II* (based on materials of [Забигайло и др., 1990])
 Legends see in Fig. 2

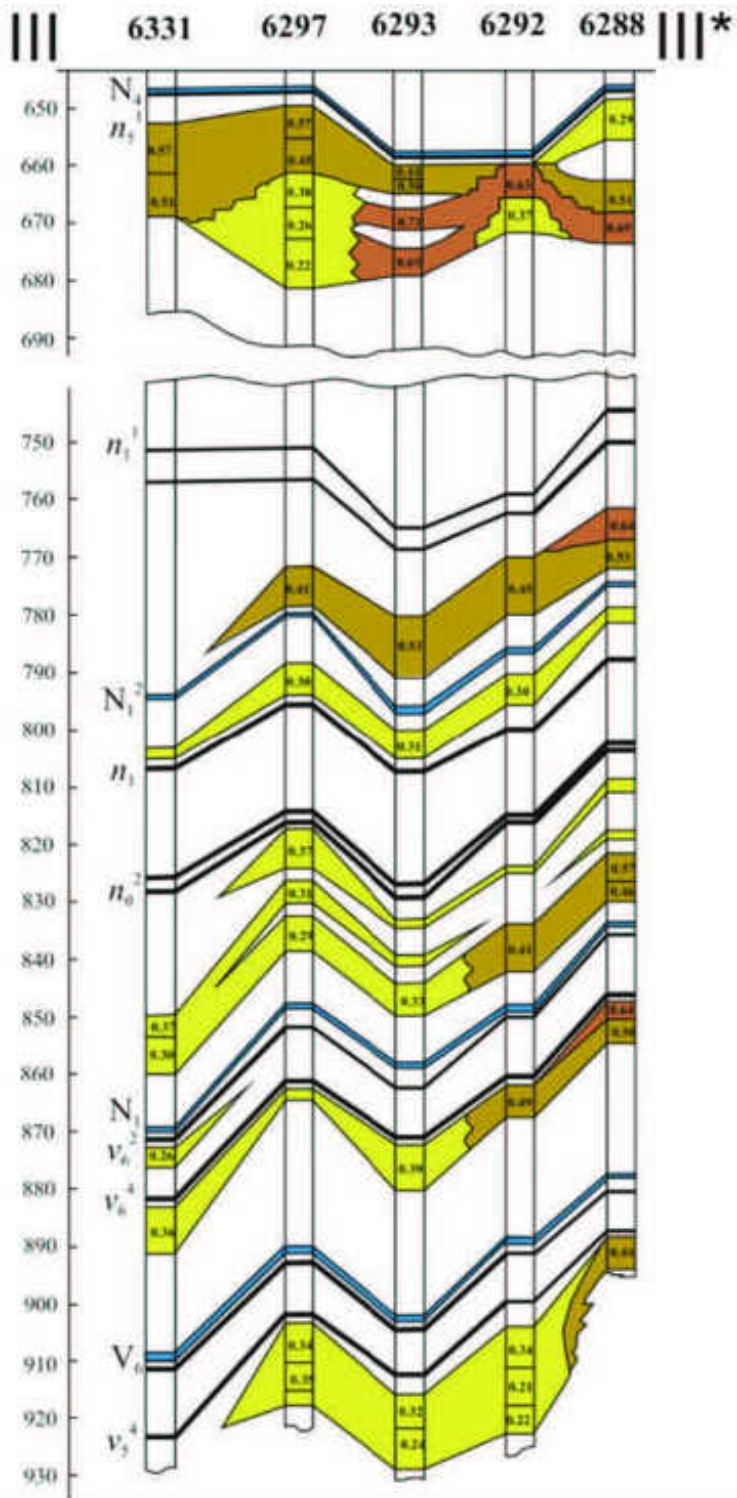


Рис. 4. Літолого-стратиграфічний розріз з викликом небезпечною ситуацією по профілю III–III* (за матеріалами [Забигайло и др., 1990])
Умов. позначення див. на рис. 2

Fig. 4. Lithologic-stratigraphic section with situation of outburst hazard along the profile III–III* (based on materials of [Забигайло и др., 1990])
Legends see in Fig. 2

з їхньою газоносністю наведемо результати газового опробування св. 7062 і 7059, що знаходяться в склепінні синкліналі між розривами, за якими виконувалося наше до-

слідження (рис. 1). Інтервал глибин, у якому вивчалася газоносність пісковиків, є потенційно викидонебезпечним. Св. 7062 в інтервалі глибин 622,5–822,2 м опробувано

Таблиця 3. Петрографічний склад пісковиків Тяглівського родовища [Бучинська, 2010]

Table 3. Petrographic composition of sandstones of the Tyagliv field [Бучинська, 2010]

Пісковики	Генетичний тип	Склад уламкової частини, %				Цемент, %			Рослинні залишки, %
		Кварц	Польові шпати	Уламки порід	Слюда	Поровий, контактово-поровий		Регенераційний кварцовий	
						глинистий	карбонатний		
n_9Sb_4	ПВР	53–60	5–7	11–18	2–5	10–19	5–14	1–2	До 2
n_8Sn_9	Р	63–77	2–10	4–13	0–2	5–10	2–6	2–5	До 1
$n_0^6Sn_7$	ПВР	52–65	3–10	7–13	1–3	11–20	2–6	1–3	До 3

Таблиця 4. Газоносність та склад газової суміші пісковиків Тяглівського родовища [Грещак и др., 1991]

Table 4. Gas presence and composition of gas mixture of sandstones of the Tyagliv [Грещак и др., 1991]

№ свердловини	Глибина опробування, м	Генетичний тип пісковіку	Склад газової суміші, % об.				Загальна газоносність, м ³ /т
			CH ₄	N ₂	CO ₂	H ₂	
7062	622,5	ПВР	46,5	50,5	2	1	2,4
	650,3	ПВР	65,2	21,4	12,2	2,2	2,2
	651,8	ПВР	90,9	7,6	1,5	–	1,3
	784,7	ПМ	90,1	8,2	–	1,7	6,8
	814,7	ПВР	54,3	37,2	6,8	1,7	5,9
	814,7	ПВР	69,5	28	1,9	0,6	8,9
	818,3	ПВР	48,5	42,4	6,1	3	2,4
	822,2	ПВР	66,7	28,6	2,4	2,3	4,4
7059	609,0	ПМ	68,0	12	20	–	2,3
	651,8	ПВР	90,9	7,6	1,5	–	1,3
	667,2	ПВР	19,6	77,9	1,4	1,1	6,4
	726,3	ПВР	46,8	46,8	4,2	2,2	2,3
	726,3	ПВР	52,1	31,5	14,9	1,5	4,5
	732,3	ПВР	38,1	52,4	4,8	4,7	2,5
	752,8	ПВР	40,8	44,9	8,2	6,1	4,2
	782,9	Р	16,7	75	5,5	3,8	5,4
786,7	Р	19,6	58,8	19,6	2	8,3	

пісковики ПВР, газоносність яких змінюється від 1,3 до 8,9 м³/т, при вмісті метану 46,5–90,9 % об. Св. 7059 в інтервалі глибин 609,0–786,7 м опробовано пісковики ПВР і Р. Їхня газоносність сягає від 1,3 до 8,3 м³/т, при вмісті метану 16,7–90,9 % об. Загалом, газоносність цих пісковиків є достатньо високою і може спричинити несподівані викиди порід і газу.

Висновки

ЛВБ є важливою ланкою у паливно-енергетичній базі України. Перспективи збільшення вуглевидобутку пов'язані з Південно-Західним вугленосним районом, де планувалося будівництво ряду нових шахт. Зокрема, в попередні роки проводилась детальна розвідка на полі шахти «Тягівська-1», що знаходиться на півночі Тягівського родовища.

Вивченню викидонебезпечності порід ЛВБ традиційно приділялося мало уваги, оскільки вважалося, що це явище може проявлятися лише з певної глибини (мінімальна

глибина викиду для Донецького басейну – 677 м [Забигайло и др., 1980]), а у більшості родовищ басейну вугільні пласти залягають на менших глибинах.

При прогнозованому дослідженні вуглепородного масиву Тягівського родовища ЛВБ нами проведено зіставлення викидонебезпечних властивостей пісковиків та їхньої газоносності. Вугленосна товща Тягівського родовища майже повністю залягає в метановій зоні. Встановлено, що пісковики $n_6^1Sn_7$, n_8Sn_9 , n_9Sb_4 є потенційно викидонебезпечними та одночасно можуть бути хорошими колекторами супутнього газу-метану. Отже, пісковики вуглевмісної товщі при проектуванні шахтних виробок потребують комплексного дослідження, невід'ємною частиною якого є вивчення їхньої газоносності, колекторських властивостей та викидонебезпечності, що включає петрографічне дослідження порід з встановленням ступеня катагенетичних перетворень.

Список літератури / References

1. Бучинська І.В. Літологічний склад, колекторські властивості та газоносність пісковиків кам'яновугільного віку Львівсько-Волинського вугільного басейну (поле шахти «Тягівська № 1»). *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2010. № 2 (151). С. 30–36.

Buchynska I.V., 2010. Lithological composition, reservoir rock properties and potential for gas presence in sandstones of Carboniferous age in the Lviv-Volyn Coal Basin (Taygliv-1 mine field). *Geologiya i geokhimiya goryuchykh kopalyn*, № 2 (151), p. 30–36 (in Ukrainian).

2. *Временное* руководство по применению метода регионального прогноза выбороопасности пород Донбасса по геологоразведочным данным. Днепропетровск, 1973. 49 с.

Temporary directions for use of the method of regional prediction of rock outburst danger in the Donets Basin based on geological-prospecting data. Dnepropetrovsk, 1973, 49 p. (in Russian).

3. Грещак Л.Н., Явний П.М., Зборивец И.В. и др. Газоносность и выбороопасность углей и вмещающих пород Юго-Западного углепромышленного района Львовско-Волинского бассейна. Львов, 1991. Т. 1. 89 с.

Greshchak L.N., Yavnyi P.M., Zborivets I.V. et al., 1991. Gas-bearing potential and outburst danger of coals and enclosing rocks of the South-Western

coal mining region of the Lviv-Volyn Basin. Lvov, vol. 1. 89 p. (in Russian).

4. Грещак Л.И., Явний П.М., Зборивец И.В. та ін. Встановлення закономірностей зміни гірничо-геологічних умов (викидонебезпечності, газоносності, ударонебезпечності вугілля і порід Львівсько-Волинського вугільного басейну). Львів, 1993. Т. 1. 87 с.

Greshchak L.N., Yavnyi P.M., Zborivets I.V. et al., 1993. Establishing of regularities of alterations in mining-geological conditions (rock outburst danger, gas presence, outburst danger of coal and rocks of the Lviv-Volyn Coal Basin). Lviv, vol. 1, 87 p. (in Ukrainian).

5. Забигайло В.Е., Гончаренко В.А. и др. Временное методическое руководство для определения основных геологических показателей выбороопасности горных пород в Донском бассейне по результатам геофизических исследований углеразведочных скважин / Мингео СССР, АН УССР, ИГТМ АН УССР. Днепропетровск, 1985. 48 с.

Zabigailo V.E., Goncharenko V.A. et al., 1985. Temporary methodical directions for determination of main geological indications of rock outburst danger in the Donets Basin based on results of geophysical investigations of coal prospecting holes. Mingeo USSR, AN UkrSSR. Dnepropetrovsk, 48 p. (in Russian).

6. Забигайло В.Е., Явний П.М. и др. Газоносность и выбросоопасность углей и пород Юго-Западного угленосного района Львовско-Волынского бассейна (выбросоопасность по геолого-геофизическим данным). Отчет по хозяйственной теме. Львов: ИГГГИ НАН Украины, 1990. 140 с.

Zabigailo V.E., Yavnyi P.M. et al. Gas-bearing potential and outburst danger of coals and rocks of the South-Western Coal region of the Lviv-Volyn Basin (outburst danger on geological-geophysical data). Report on economic-contractual subject. Lvov: IGGGK NAS Ukraine, 1990, 140 p. (in Russian).

7. Забигайло В.Е., Лукинов В.В., Широков А.З. Выбросоопасность горных пород Донбасса. Киев: Наук. думка, 1983. 286 с.

Zabigailo V.E., Lukinov V.V., Shirokov A.Z., 1983. Rock outburst danger in the Donets Basin. Kiev: Naukova Dumka, 286 p. (in Russian).

8. Забигайло В.Е., Николин В.И. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность. Киев: Наук. думка, 1990. 166 с.

Zabigailo V.E., Nikolin V.I., 1990. Influence of rock catagenesis and coal metamorphism upon outburst danger. Kiev: Naukova Dumka, 166 p. (in Russian).

9. Иванців О.Є., Лизун С.О., Дудок І.В. Критерії оцінки природної метаноносності вугільних родовищ України. *Геотехнічна механіка*: міжвід. зб. пр. Ін-ту геотехн. механіки НАН України. Дніпропетровськ, 2000. Вип. 17. С. 83–90.

Ivantsiv O.Ye., Lyzun S.O., Dudok I.V., 2000. Estimation criteria for natural methane presence in coal fields of Ukraine. *Geotekhnichna mekhanika*: interdepartmental collection of works of Institute of

Geotechnical Mechanics NAS Ukraine. Dnipropetrovsk, iss. 17, p. 83–90 (in Ukrainian).

10. Лелик Б., Решко М., Гірний Є. Аналіз газоносності та експрес-інформація за результатами робіт початку першого етапу буріння свердловини "А" на Тяглівському родовищі Львівсько-Волинського басейну. *Геотехнічна механіка*: міжвід. зб. пр. Ін-ту геотехн. механіки НАН України. Дніпропетровськ, 2000. Вип. 17. С. 119–123.

Lelyk B., Reshko M., Girnyi Ye., 2000. Analysis of the potential for gas presence and express information according to the results of work of the first phase of borehole drilling "A" on the Taygliv field of the Lviv-Volyn Basin. *Geotekhnichna mekhanika*: interdepartmental collection of works of Institute of Geotechnical Mechanics NAS Ukraine. Dnipropetrovsk, iss. 17, p. 119–123 (in Ukrainian).

11. Струев М.И., Исаков В.И., Шпакова В.Б. Львовско-Волынский каменноугольный бассейн: Геолого-промышленный очерк. Киев: Наук. думка, 1984. 272 с.

Struyev M.I., Isakov V.I., Shpakova V.B., 1984. Lvov-Volyn Coal Basin. Geological-industrial article. Kiev: Naukova Dumka, 272 p. (in Russian).

12. Явний Петро, Книш Іван, Бучинська Ірина, Бик Святослав. Прогноз газоносності вугільних пластів Тяглівського родовища Львівсько-Волинського басейну. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2009. № 2. С. 39–51.

Yavnyi Petro, knysh Ivan, Buchynska Iryna, Byk Sviatoslav, 2009. Prediction of the potential for gas presence in coalbeds of the Taygliv field of the Lviv-Volyn Basin. *Geologiya i geokhimiya goryuchykh kopalyn*, № 2, p. 39–51 (in Ukrainian).

Стаття надійшла
23.12.2015

ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИПОВЕРХНЕВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ З МЕТОЮ ВИВЧЕННЯ ГЕОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗЕЛЕНОГАЙСЬКОЇ ПЛОЩІ ТА ОДНОІМЕННОЇ ІМПАКТНОЇ СТРУКТУРИ

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 Зеленогайської площі. Комплексом польових, лабораторно-аналітичних та камерально-тематичних робіт встановлені характеристики розподілу температурних, еманційних і газогеохімічних полів.

Ключові слова: СТАГД, Зеленогайська імпактна структура.

IMPLEMENTATION OF SUBSURFACE INVESTIGATION METHODS ON ZELENOGAYSKA 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 Zelenogayska impact crater and presence of gas within it, the complex of structural-thermo-atmogegeochemical 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-atmogegeochemical 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, Zelenogayska impact crater.

ВНЕДРЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗЕЛЕНОГАЙСКОЙ ПЛОЩАДИ И ОДНОИМЕННОЙ ИМПАКТНОЙ СТРУКТУРЫ

В.Г. Семенюк

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

*Компания «Смарт Энерджи», Киев, Украина, E-mail: v.semenuk@ukrgv.com
Главный геолог компании «Смарт Энерджи».*

Проведен комплекс приповерхностных структурно-геологических, термометрических и атмогеохимических исследований (СТАГИ) с целью изучения структурно-геологического строения Зеленогайской площади. Комплексом полевых, лабораторно-аналитических и камерально-тематических работ установлены характеристики распределения температурных, эманационных и газогеохимических полей.

Ключевые слова: СТАГИ, Зеленогайская импактная структура.

Вступ

Площа досліджень знаходиться в Знам'янському районі Кіровоградської області поблизу сел. Зелений Гай в 45 км на північний схід від м. Кіровоград, між населеними пунктами Новопокровка (5 км на північ), Іванівка (7,5 км на північний захід), Федірки (4 км на південь), в басейні р. Інгулець на правому березі р. Дніпро. В центрі досліджуваної площі розташована Зеленогайська імпактна структура, яка морфологічно не знаходить відображення (рис. 1.)

За схемою регіонального геолого-структурного районування кристалічного фундаменту Українського щита (УЩ) район досліджень знаходиться в межах Знам'янського блоку 3-го рангу, який входить до складу Інгульського блоку 2-го рангу, що є

складовою частиною Кіровоградського блоку 1-го рангу Центрально-Українського геоблоку УЩ [Пояснювальна..., 2004] (рис. 2).

У межах досліджуваної площі виділяються два основних комплекси порід фундаменту: 1) метаморфічний протогоеосинклінальний структурно-формаційний комплекс палеопротерозойської евіогео-синкліналі (флішоїдна метаалевроліт-метапідсковикова формація (чечеліївська світа)) у південно-східній та 2) частково у північній частинах ділянки досліджень та формація граніт-мігматитова (кіровоградський комплекс) у північно-східній її частині. Також у північно-східній частині знаходиться залізна метавулканогенно-метатеригенна підформація (нижня підсвіта спасівської світи).

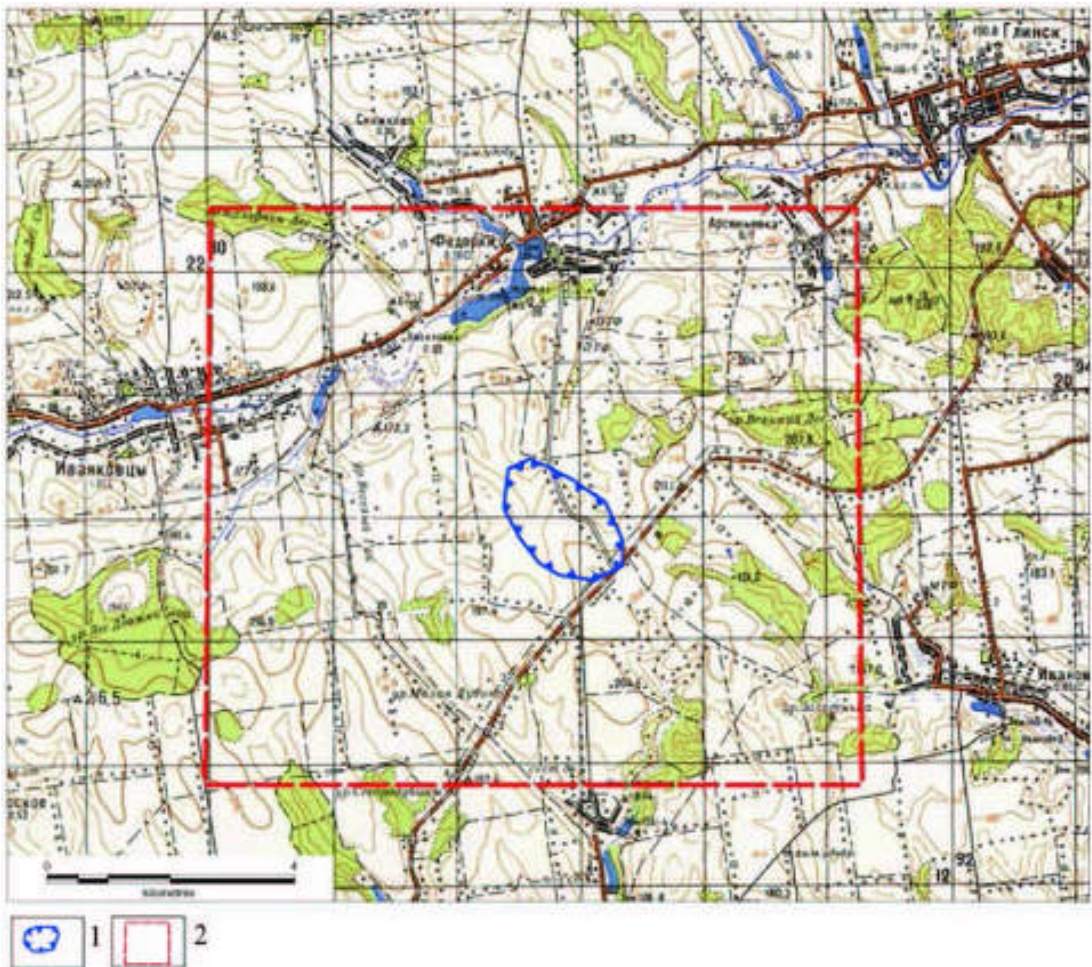


Рис 1. Положення Зеленогайської структури на топографічній карті м-бу 1 : 100 000 із зображенням контуру проведених робіт за методикою СТАГД

1 – контур Зеленогайської імпактної структури згідно з тектонічною схемою м-бу 1 : 500 000 (аркуш М-36XXVII);
2 – контур ділянки робіт СТАГД

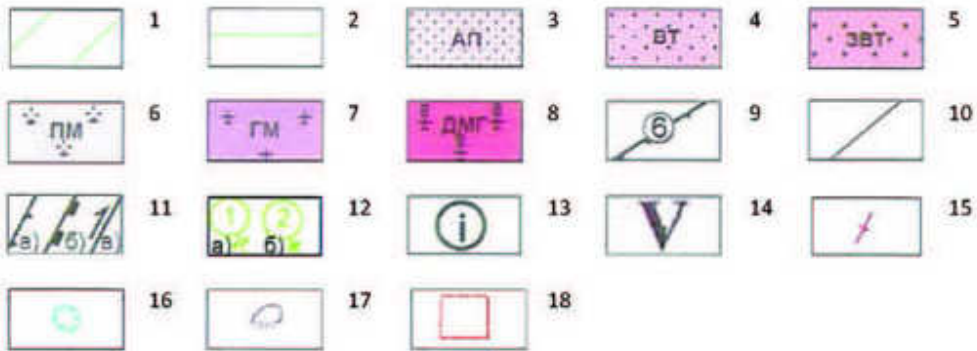
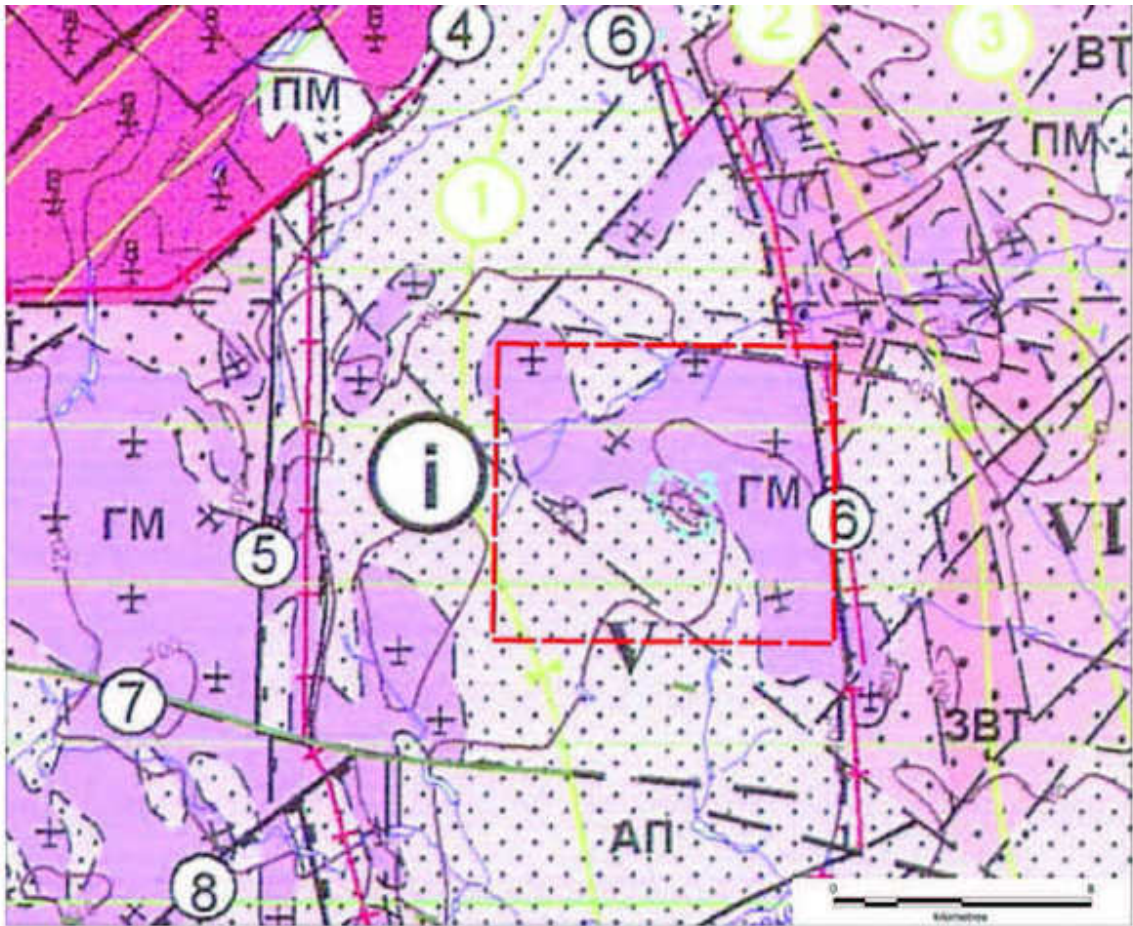


Рис. 2. Розташування Зеленогайської структури на фрагменті «Тектонічна схема кристалічного фундаменту». М-б 1 : 500 000. Аркуш М-36ХХVII [Пояснювальна..., 2004] із зображенням контуру Зеленогайської структури і контуру проведених робіт за методикою СТАГД

Умовні позначення до рис. 2

Інгуло-Інгулецька структурно-формаційна зона:

1 – Чигиринська підзона, 2 – Приінгульська підзона.

Структурно-речовинні комплекси:

Метаморфічні утворення:

3 – протогеосинклінальний структурно-формаційний комплекс палеопротерозойської евіогіосинкліналі. Флішодна метаалевроліт-метапсковикова формація (чечеліївська світа); 4 – метавулканогенна кременево-сланцева формація. Метавулканогенно-метатеригенна підформація (верхня підсвіта спасівської світи); 5 – залізна метавулканогенно-метатеригенна підформація (нижня підсвіта спасівської світи).

Ультраметаморфічні та інтрузивні утворення:

Стадія консолідації кори перехідного типу:

6 – формація плагіограніт-плагіомігматитова (інгулецький комплекс).

Стадія орогенезу (консолідації кори континентального типу):

7 – формація граніт-мігматитова (кіровоградський комплекс);

8 – формація діорит-монцоніт-гранітова (новоукраїнський комплекс).

Розривні порушення:

9 – головні регіональні розривні порушення: 4 – Чигиринський, 5 – Знам'янський, 6 – Іванівський, 7 – Цибулівський, 8 – Мар'ївський;

10 – другорядні розривні порушення;

11 – різновиди розломів: а) підкид, б) скид, в) здвиг;

12 – осі плікативних структур: а) синформних, б) антиформних: 1 – Іванівська синкліналь, 2 – Глинська антикліналь, 3 – Захар'ївська синкліналь.

Блокові структури Кіровоградського блоку:

13 – блоки 2-го рангу: I – Інгульський;

14 – блоки 3-го рангу: V – Знам'янський, VI – Іванівський;

15 – межі блоків: а) 2-го, б) 3-го рангу;

16 – Зеленогайська структура, контури кратера;

17 – ізогіпси поверхні кристалічного фундаменту (проведені через 20 м);

18 – контур ділянки робіт СТАГД

В межах ділянки досліджень фіксуються декілька порушень. Положення її північної границі збігається із субширотним порушенням. Зі сходу межа досліджуваної ділянки збігається з Іванівським підкидом. У південно-західній частині ділянки досліджень відбувається порушення північно-західного напрямку. Крім Іванівського порушення всі інші є ймовірними.

Окрім того, у південно-західній частині досліджуваної площі виділяється ось плікативної синформної Іванівської синклінали.

В центральній частині площі досліджень знаходиться Зеленогайська імпактна структура. Як западину в породах кристалічного фундаменту вперше її було визначено при геолого-геофізичних дослідженнях В.Н. Білогубом (1972 р.) (аномалія підвищеної електропровідності порід і мінімум сили тяжіння). Попередньо розмір кратера був визначений як 1,3-1,4 км (Вальтер, Рябенко, 1977; Масайтіс та ін., 1980) [Гуров, Гожик, 2006]. В подальшому, виходячи з розміру геофізичних аномалій на Зеленогайській структурі, визначили можливий розмір її діаметра в 1,8-1,9 км. Судячи з розміру геофізичних аномалій і залежності між глибиною і діаметром кратера (Болдуїн, 1968), можлива максимальна глибина сучасної Зеленогайської структури була оцінена в 180 м [Голубев и др., 1980]. Для з'ясування природи аномалії під керівництвом В.П. Брянського пробурена св. 5286 глибиною 214 м, яка під товщею рихлих кайнозойських відкладів розкрила комплекс брекчій кристалічних порід [Гуров, Гожик, 2006]. Бурінням було встановлено, що аномалія зумовлена

локальною котловиною в кристалічному фундаменті [Вальтер и др., 1976]. Проведене А.А. Вальтером вивчення керна свердловини на підставі виявлення відповідних ознак брекчіювання порід [Голубев и др., 1976] (встановлені ознаки ударного метаморфізму: планарні структури в кварці і польовому шпаті, діалектове скло, конуси руйнування) дозволило встановити прояви ударного метаморфізму і зробити висновок про імпактне утворення структури [Вальтер и др., 1976]. Однак В.П. Брянський у 1978 р. вказував, що розповсюдження в межах депресії поліміктової брекчії, яку А.А. Вальтер визначав як імпактну за походженням, дозволило припустити можливе тектонічне утворення структури.

Нові дані про будову кратера отримано в 1976-1977 рр. при бурінні В.А. Голубевим двох св. – 5019 і 5020 (1-15 км на захід від св. 5286) з метою пошуку імпактних алмазів [Гуров, Гожик, 2006]. Ці свердловини розкрили каптогенні породи на глибинах 86,6 і 165,8 м [Голубев и др., 1980]. Обидві свердловини пройдені на північно-західному схилі кратера, і тому повного розрізу імпактних і вибухових брекчій не отримано [Голубев и др., 1980].

Матеріали буріння та геофізичні дослідження вказували на просту будову кратера. Він утворився в біотитових гнейсах і гранітоїдах кіровоградського комплексу протерозою, на поверхні перекритий потужною товщею кайнозойських відкладів.

Платформний чохол залягає на еродованій поверхні кристалічного фундаменту, стратиграфічно і незгідно перекритий з

поверхні ґрунтово-рослинним шаром потужністю 0,5 м [Федоришин, Маківчук, 2004]. Загальна потужність осадового чохла за даними буріння становить в середньому 55 м.

З початку 90-х років ХХ ст. КП «Кіровгеологія» на території Кіровоградського блоку проведено прогнозно-пошукові роботи, пов'язані з пошуками джерел алмазонасності. Однією із структур, що вивчалась, була Зеленогайська. Головний геолог експедиції № 37 М. Кир'янов та геолог В. Чернов з самого початку вважали Зеленогайську структуру ендегенною [Калашник и др., 2013].

В межах структури виконано:

- буріння картувальних (по сітці 100x200 м) глибоких (завглибшки 500 м і більше) свердловин, загальною кількістю понад 100;
- геофізичні дослідження (магніто- та гравіметричні масштабу 1 : 5000 та більше);
- комплекс петрографо-мінералогічних досліджень тощо.

За результатами детальної гравіметричної зйомки була зафіксована від'ємна гравітаційна аномалія у формі гантелі, що була витягнута з північного заходу на південний схід [Маківчук и др., 2012]. Це дозволило припустити, що кратер має подвійну імпактну структуру. За даними [Калашник и др., 2013], на Зеленогайській структурі відкартована структура вибуху вулканогенного типу. Про це свідчить наявність в керні мінералу кусонгіт [Білик та ін., 2014], мантийних сферул і гіалокластів експлозивного походження [Яценко и др., 2013].

Аналіз даних по свердловинах, виконаний «Кіровгеологія», не дозволяє у межах Зеленогайської структури визначити особливості поширення відкладів поверхні фундаменту або окреслити контури трубчастих тіл (діатрем) у фундаменті, простежити їх будову на глибоких горизонтах, оскільки всі свердловини пробурені в межах більшого північно-західного кратера. Північно-західна діатрема має розмір 450x250 м і окреслена по всьому периметру на основі фактичних даних картувальних свердловин; південно-східна діатрема має мінімально можливі реальні розміри 330x280 м, але не визначена через недостатню кількість фактичних даних [Федоришин, Маківчук, 2004].

Таким чином, на сьогодні існує дві основні думки на утворення і будову структури:

1 – імпактна структура, яка виникла внаслідок метеоритного удару;

2 – імпактна структура, що виникла як структура вулканогенного типу.

На думку А.В. Кузьміна і В.Б. Заяц, можливо, існує зв'язок між виникненням вулканізму і метеоритним ударом [Кузьмин, Заяц, 2012].

За схемою регіонального геолого-структурного районування кристалічного фундаменту УЩ район досліджень входить до складу Кіровоградського блоку 1-го рангу, який є складовою частиною Центрально-Українського геоблоку [Пояснювальна..., 2004] (рис. 2).

У структурно-формаційному аспекті Зеленогайська структура знаходиться в Інгуло-Інгулецькій структурно-формаційній зоні, Приінгульській структурно-формаційній підзоні (СФП) в Знам'янському тектонічному блоці, який відокремлений тектонічними порушеннями від Іванівського блоку із сходу та Єлизаветградського із заходу. Блоки відрізняються між собою співвідношенням порід різних геологічних формацій.

Утворення вибухового кратера, як вважалося, аналогічне виникненню Бовтиського, тобто приурочено до межі крейди і палеогену. Пізніше Р.Н. Ротман у посткратерних осадах Зеленогайського кратера встановив пилосі рослини третинного, можливо, палеогенового віку, а в праці [Голубев и др., 1980] можливий вік утворення структури вказувався як неоген – палеоген.

У межах Зеленогайської імпактної структури розташоване однойменне родовище бурого вугілля, що належить до Дніпровського буровугільного басейну.

Алмазонасність порід алогенного комплексу Зеленогайської структури доведена знахідкою одиничних зерен алмазу А.А. Вальтером. В пробі інтервалу 89-95,5 м визначено 10 зерен алмазів, які за розміром і зовнішнім виглядом збігаються з алмазами інших астроблем УЩ [Гуров, Гожик, 2006].

Структурно-термо-атмогеохімічні дослідження (СТАГД)

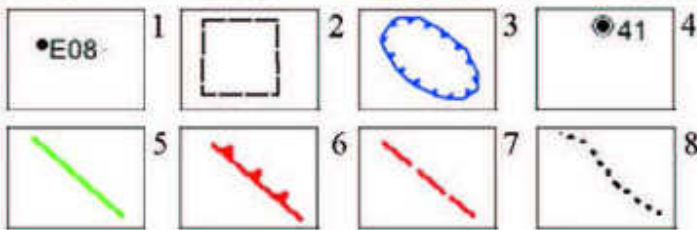
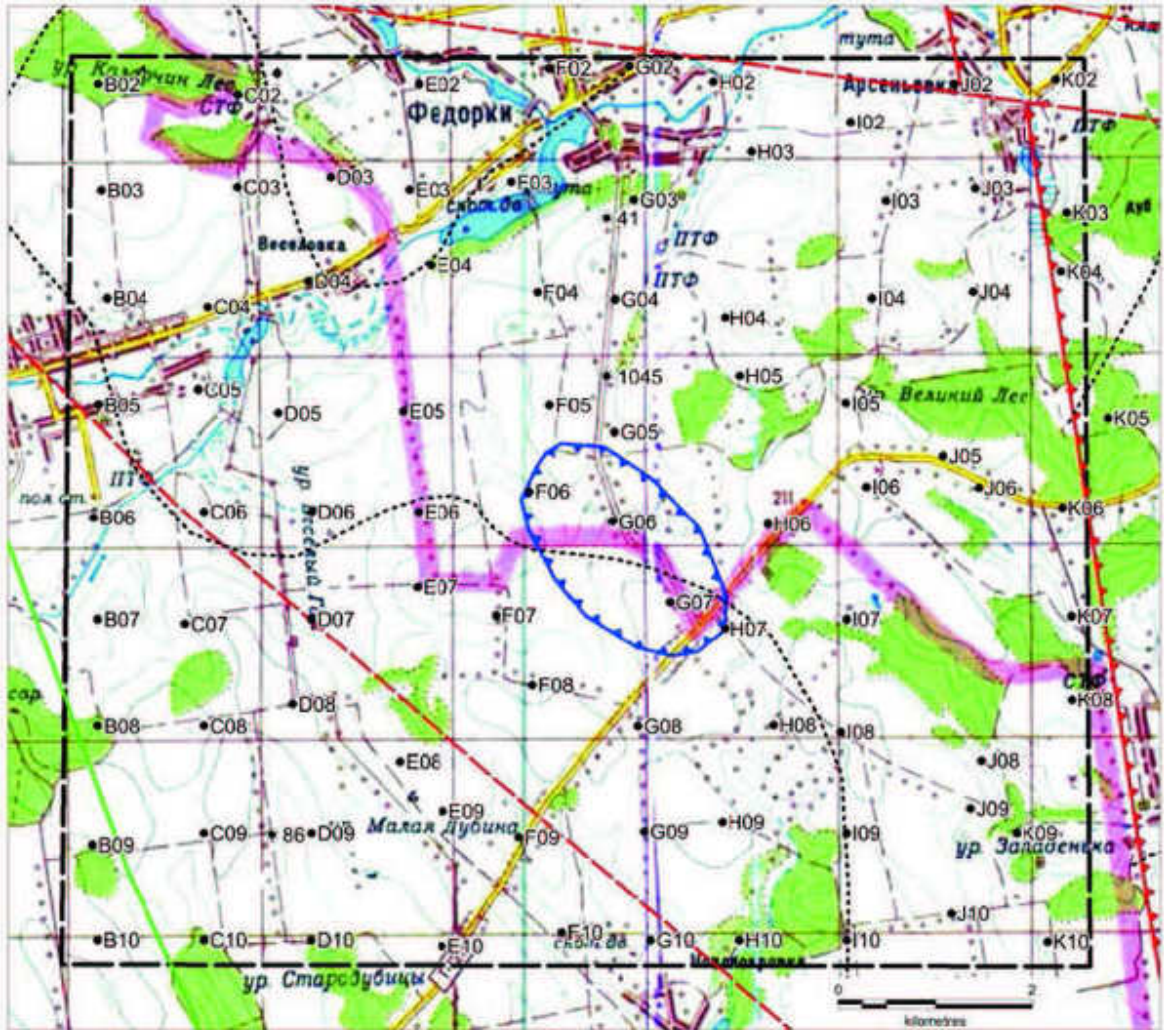
В 2014 р. у районі Зеленогайської структури на площі 97,84 км² в площовому варіанті з кроком 1x1 км (рис. 3) виконано структурно-термо-атмогеохімічні дослідження (СТАГД).

Спостереження та виміри проведено на 90 пунктах. Мета досліджень – вивчення особливостей структурно-геологічної будови і газоносності комплексом поверхневих методів досліджень.

Роботи проведено за методикою, що розроблена у відділі геоєкології та пошукових досліджень Інституту геологічних наук НАН України та впроваджена в різних регіо-

нах України при виконанні пошуків і розвідки різних видів корисних копалин [Багрій, 2013; Багрій, 2015].

Під час польових робіт проведено: термометричні дослідження; еманційні дослідження (радон, торон); газогеохімічні дослідження за воднем, гелієм, вуглекислим газом; газогеохімічні дослідження за вільними вуглеводнями.



1 – пункти спостереження СТАГД та їх номери; 2 – контур ділянки досліджень СТАГД, 3 – контур Зеленогайської структури; 4 – свердловини та їх номери; 5 – вісь Іванівської синкліналі; 6 – Іванівський підкид; 7 – другорядні розривні порушення (ймовірні); 8 – границя порід різного структурно-речовинного комплексу

У лабораторних умовах виконано хромотографічний аналіз відібраних атмогеохімічних проб на гелій, водень, вуглекислий газ, вільні вуглеводні (метан, етан, етилен, пропан, пропілен, ізобутан, бутан, ізопентан, пентан, гексан).

На рис. 4, 5 наведено розподіл показників СТАГД при зіставленні з елементами геологічної карти (рис. 2).

При побудові карт на шкалах показника вказувалось мінімальне та максимальне значення, визначене на площі досліджень при виконанні СТАГД. Ізолінії проведено по обов'язкових рівнях: середнє $-2S$, середнє $-S$, середнє, середнє $+0,5S$, середнє $+S$, середнє $-1,5S$, середнє $+2S$, середнє $+3S$, де S – стандартне відхилення.

Якщо $\min > \text{середнє } -2S$ (або $\min > \text{середнє } -S$), то ізолінія для середнє $-2S$ (середнє $-S$) не проводилась, те ж саме для $\max < \text{середнє } +3S$. Якщо між середнє $+3S$ до \max трапляється декілька пунктів спостережень (ураганні аномальні проби), то для зображення їх відношення одне до одного додано додатні ізолінії з різним кроком, але таким чином, щоб відобразити рівень аномальності. Рівні, менші за середнє значення показника, кольору не мають. Рівням від середнього до середнє $+3S$ властивий градієнтний колір від світлого тону (середнє) до темного (середнє $+3S$ або \max). Рівні, що перевищують середнє $+3S$, мають колір від жовтого (середнє $+3S$) до червоного (\max).

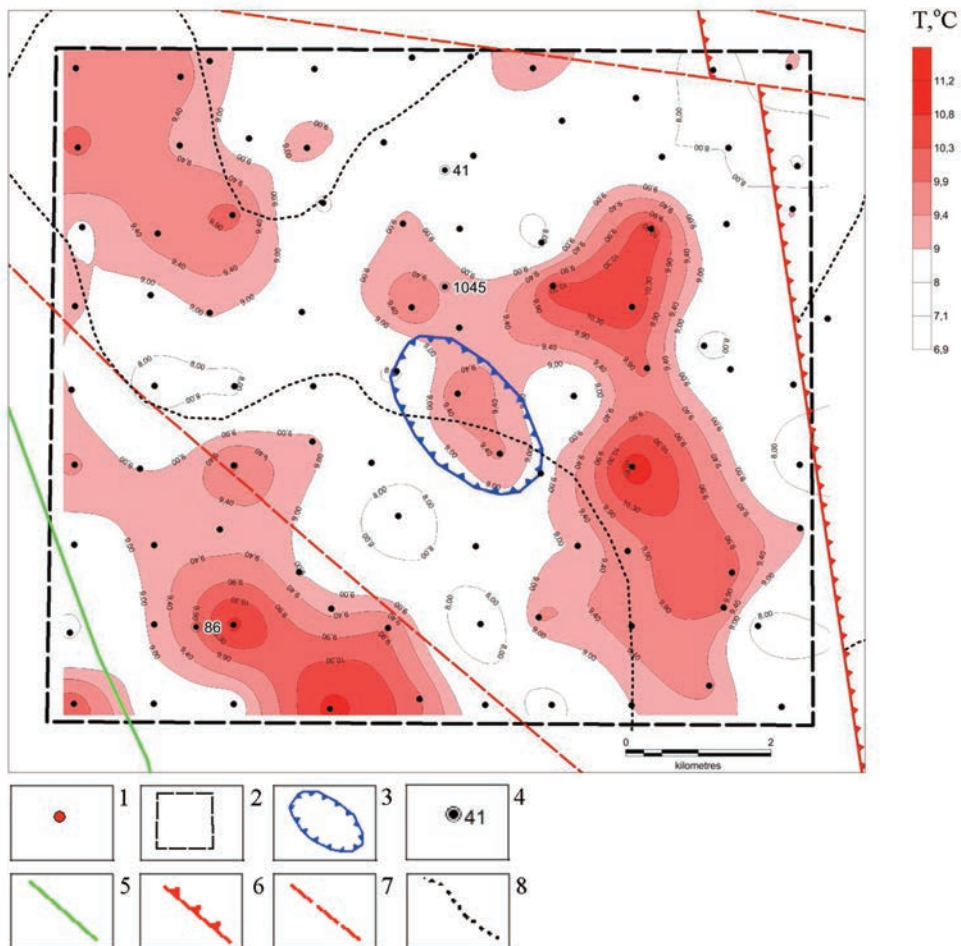


Рис. 4. Схема просторового розподілу температурних показників підґрунтового шару порід
Умовні позначення до рис. 4-6: 1 – пункти спостереження СТАГД та їх номери; 2 – контур Зеленогайської площі досліджень СТАГД; 3 – контур Зеленогайської структури; 4 – свердловини та їх номери; 5 – вісь Іванівської синклінали; 6 – Іванівський підкид; 7 – другорядні розривні порушення (ймовірні); 8 – границя порід різного структурно-речовинного комплексу

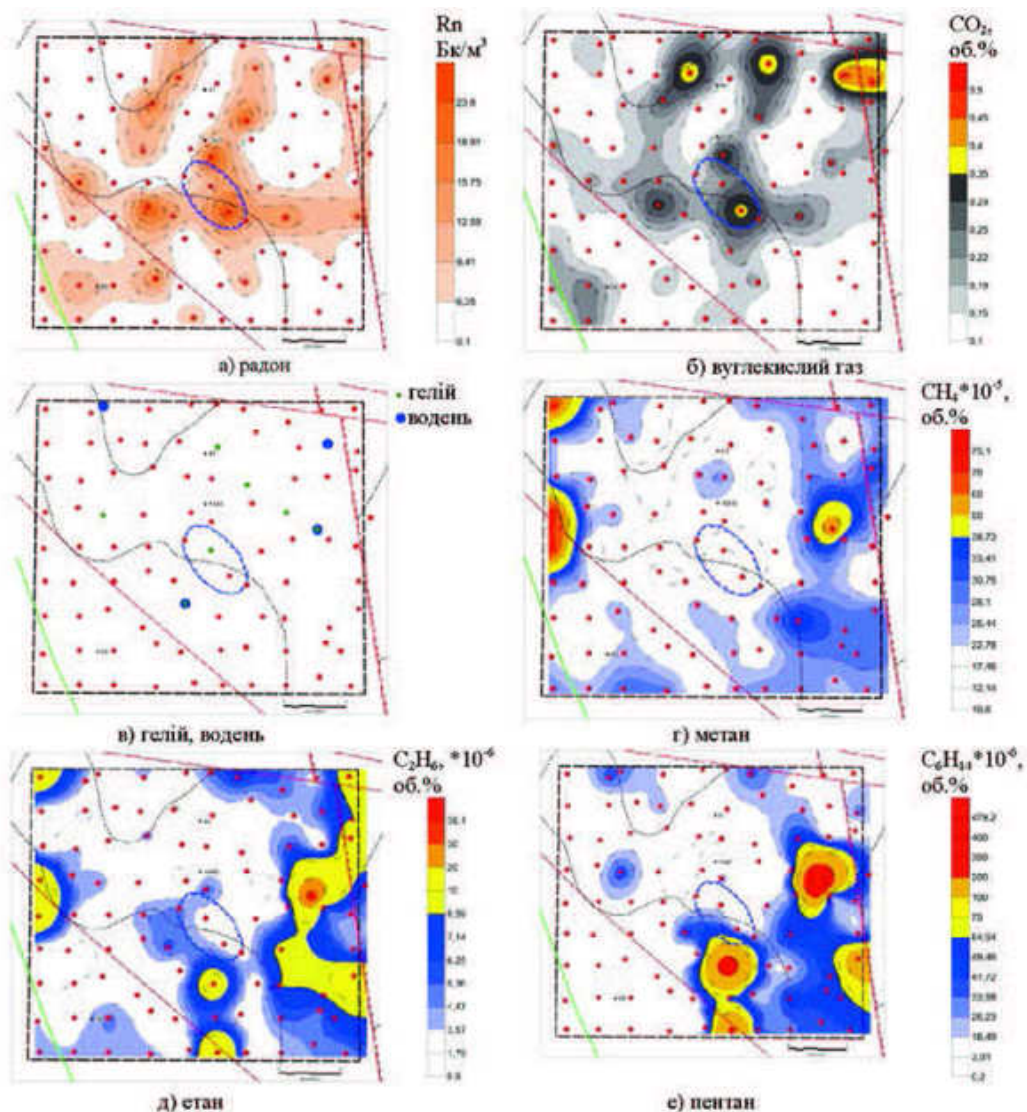


Рис. 5. Схема просторового розподілу в підґрунтовому повітрі показників СТАГД

Розподіл температурного показника (рис. 4) не виразний і не має значень, що перевищують середнє +3S. Виділяються три аномалії складної форми, положення яких не збігається з геологічними структурами. Винятком є підвищення температури в межах Зеленогайської структури.

Розподіл радону (рис. 5, а), торону, вуглекислого газу (рис. 5, б) за формою аномалій є близьким один до одного. Але радон і торон в межах площі досліджень не мають значень, що перевищують середнє +3S, в той час як для вуглекислого газу такі значення визначено у північно-східній частині ділянки досліджень.

Гелій і водень (рис. 5, в) спостерігались в межах ділянки досліджень вище чутливості

приладів: гелій – 7 ПС (пункт спостережень), водень – 4 ПС.

Метан (рис. 5, г) в межах досліджуваної площі спостерігався у східній її частині вздовж Іванівського підкиду та у західній частині. В межах Зеленогайської структури фіксується значне зменшення показника.

Розподіл етану (рис. 5, д), пропану, ізобутану є близьким один до одного, так само як і розподіл етилену, пропілену, бутану, пентану, гексану (рис. 5, е).

За результатами досліджень СТАГД у межах площі за розподілом показників можна визначити осі комплексних (трапляється декілька показників) аномалій (рис. 6).

Так, за радоном, тороном і вуглекислим газом виділяється вісь комплексної аномалії

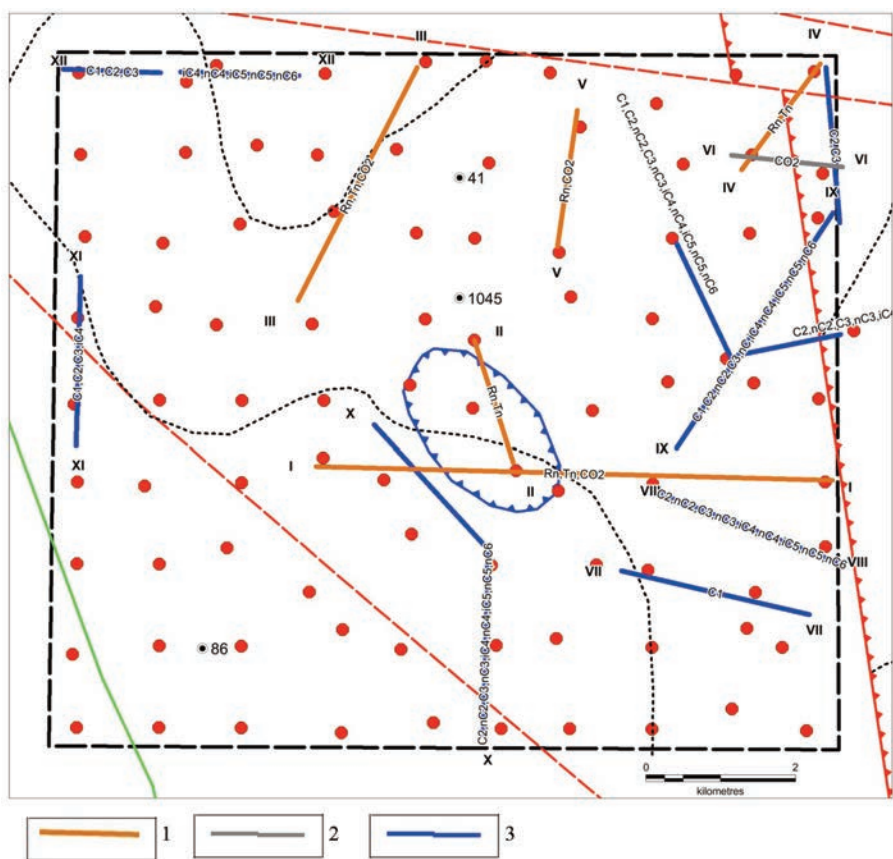


Рис. 6. Схема розподілу осі комплексних аномалій

Осі комплексних атмогеохімічних аномалій: 1 – за радоном (Rn) + тороном (Tn) + вуглекислим газом (CO₂); 2 – вуглекислим газом (CO₂); 3 – вуглеводневими газами (де C1 – метан, C2 – етан, nC2 – етилен, C3 – пропан, nC3 – пропілен, iC4 – ізобутан, nC4 – бутан, iC5 – ізопентан, nC5 – пентан, nC6 – гексан)

I-I, яка простежується в межах ділянки досліджень від Іванівського підкиду до порушення північно-західного напрямку у південно-західній частині ділянки робіт. Біля цього порушення аномалія за радоном ускладнюється і далі прослідковується вздовж порушення на північний схід і на південь (рис. 5, а). Крім того, ця аномалія ускладнюється при перетині Зеленогайської структури, де від неї відокремлюється гілка II-II майже у північному напрямку.

Також виділяється комплексна за радоном, тороном, вуглекислим газом вісь аномалії III-III. Частково її позиція збігається з границею зміни складу порід фундаменту.

Вісь комплексної аномалії IV-IV за радоном і тороном знаходиться у північно-східній частині ділянки досліджень і збігається з вузлом перетину Іванівського підкиду і порушення субширотного напрямку. З цією аномалією частково збігається вісь високо-

контрастної аномалії VI-VI за вуглекислим газом, але її просторовий розподіл відмінний. Також у цьому вузлі відмічаються аномальні значення етану і пропану.

Вісь аномалії V-V визначено за підвищеними значеннями радону та аномальними – вуглекислого газу.

Інші осі аномалій виділено за вуглеводневими газами.

Вісь аномалії VII-VII визначена тільки за метаном. Для інших газів тут спостерігаються значення нижче, ніж вздовж осі комплексної аномалії VIII-VIII, вздовж якої фіксуються підвищені значення за усіма гомологами метану від етану до гексану.

Вісь комплексної складної аномалії IX-IX фіксується за усіма вуглеводневими показниками від метану до гексану, але всі показники зосереджені тільки в центрі. При наближенні до Іванівського підкиду зафіксовано лише метан, етан, пропан при зменшенні об'ємної

концентрації в пробі більш важких і ненасичених вуглеводневих газів. Від цієї аномалії від'єднуються, поступово затухаючи, дві гілки на схід і північ. В східному напрямку аномалія спостерігається за газами від етану і вище при відсутності метану. На північ аномалія за складом збігається з основною.

Вісь комплексної аномалії Х-Х фіксується за усіма гомологами метану, але метану в цій аномалії немає. Звертає увагу зміна напрямку розповсюдження аномалії при досягненні Зеленогайської імпактної структури.

Вісь комплексної аномалії XI-XI спостерігається за метаном і насиченими вуглеводневими газами до ізобутану включно.

Вісь комплексної складно побудованої аномалії XII-XII знаходиться у північно-західному куті Зеленогайської площі. Для цієї аномалії характерна зміна вуглеводневих показників із заходу на схід. Так, західна частина цієї осі фіксується за висококонтрастними аномаліями метану, етану, пропану, вся вісь – за ізобутаном, а східна – за бутаном, пентанами і гексаном.

За розподілом показників СТАГД відмічається, що Зеленогайська структура є газонепроникною для вуглеводневих газів, а вісь аномалії Х-Х навіть змінює напрямок розповсюдження.

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 geocological state of 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 within impact structures of Ukraine. *Geologichnyy zhurnal*, № 2 (351), p. 125–126 (in Ukrainian).

Висновки

1. Застосування комплексу приповерхневих методів СТАГД та інтерпретація наявних геологічних і геофізичних матеріалів дозволило внести суттєві уточнення в будову Зеленогайської площі досліджень і Зеленогайської імпактної структури. Вперше проведено атмогеохімічні дослідження, що свідчать про складну будову ділянки досліджень.

2. Вперше встановлено характер просторового положення, інтенсивності і складу газових і термометричних полів в межах Зеленогайської площі досліджень і імпактної структури. Найбільш значущі аномалії підґрунтових газів просторово і генетично пов'язані з Іванівським підкидом, в той час як сама Зеленогайська імпактна структура в атмогеохімічних полях не визначається і навіть зумовлює зміну напрямку аномалій вуглеводневих газів.

3. Застосування методу побудови осі аномалій дозволило районувати територію за проникністю та геодинамічною активністю, 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.

3. Білик Н., Яценко І., Побережська І., Степанов В. Перша знахідка кусонгіту в експлозивних утвореннях України / Н. Білик, І. Яценко, І. Побережська, В. Степанов // Мінерал. зб. – 2014. – № 64, вип. 1. – С. 103–110.

Bilyk N., Yatsenko I., Poberezhska I., Stepanov V., 2014. The first occurrence of qusongite in explosive formations of Ukraine. *Mineralogichnyy zbirnyk*, № 64, iss. 1, p. 103–110 (in Ukrainian).

4. Вальтер А.А., Брянский В.П., Рябенко В.А., Лазаренко Е.Е. О взрывной (метеоритной) природе Зеленогайской структуры на Украинском щите / А.А. Вальтер, В.П. Брянский, В.А. Рябенко, Е.Е. Лазаренко // Докл. АН СССР. – 1976. – Т. 229, № 1. – С. 160–162.

Valter A.A., Bryanskiy V.P., Ryabenko V.A., Lazarenko E.E., 1976. On explosive (meteoritic) nature of Zeleny Gai structure within Ukrainian shield. *Doklady AN SSSR*, vol. 229, № 1, p. 160–162 (in Russian).

5. Голубев В.А., Мельничук Э.В., Рафенко С.Ф. Отчет о поисках кольцевых структур и оценка их алмазоносности в центральной части Украинского щита / В.А. Голубев, Э.В. Мельничук, С.Ф. Рафенко / Уманская поисковая партия Правобережной экспедиции, 1976-1979 гг. – Умань, 1980.

Golubev V.A., Melnichuk E.V., Rafenko S.F., 1980. Report about the search for the ring structures and an assessment of their diamond potential in the central part of the Ukrainian shield. Uman-skaaya searching party of Pravoberezhna expedition of 1976-1979 years. Uman, 1980 (in Russian).

6. 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).

7. Калашник А.А., Кирьянов Н.Н., Палкина Е.Ю. Алмазоперспективные структуры Ингульского мегаблока Украинского щита / А.А. Калашник, Н.Н. Кирьянов, Е.Ю. Палкина // Наук. пр. УкрНДМІ НАН України. – 2013. – № 13, ч. 2. – С. 39–64.

Kalashnik A.A., Kiryanov N.N., Palkina E.Yu., 2013. Diamonds promising structures of the Ingul megablock of Ukrainian shield. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, № 13 (part II), p. 39–64 (in Russian).

8. Макивчук О.Ф., Калашник А.А., Кузьмин А.В. Развитие минерально-сырьевых баз урана и тория Украины, перспективы алмазоносности Кировоградского мегаблока Украинского щита по результатам работ КП «Кировгеология» / О.Ф. Макивчук, А.А. Калашник, А.В. Кузьмин // Мінер. ресурси України. – 2012. – № 2. – С. 38–47.

Makivchuk O.F., Kalashnik A.A., Kuzmin A.V., 2012. Development of the raw material bases of uranium and thorium in Ukraine, prospects of diamond potential of Kirovograd megablock of Ukrainian shield according to the results of works of "Kirovgeologiya". *Mineralni resursy Ukrainy*, № 2, p. 38–47 (in Russian).

9. 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).

10. Пояснювальна записка «Державна геологічна карта України». Масштаб 1 : 200 000. Серія центральноукраїнська. Аркуш М-36XXVII (Знам'янка). – К., 2004. – 89 с.

Explanatory Note «State geological map of Ukraine». Scale 1 : 200 000. The Central Ukrainian series. Sheet M-36XXVII (Znamianka). Kyiv, 2004, 89 p.

11. Федоришин Ю.І., Макивчук О.В. Причина походження Зеленогайської структури: падіння метеориту чи ендеогенний процес? / Ю.І. Федоришин, О.В. Макивчук // Зб. наук. пр. УкрДГРІ. – 2004. – Т. 2. – С. 51–64.

Fedorishin Yu.I., Makivchuk O.V., 2004. The cause of Zeleny Gai structure origin: a meteorite fall or an endogenous process? *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI*, vol. 2, p. 51–64 (in Ukrainian).

12. Яценко І.Г., Бекеша С.Н., Билык Н.Т. Мантийные сферулы и гиалокласты эксплозивного происхождения в палеогеновых отложениях Скибовой зоны Карпат / И.Г. Яценко, С.Н. Бекеша, Н.Т. Билык // Міжнар. наук.-практ. конф. «Континентальний неовулканізм альпійської складчастої зони Східної Європи». – К., 2013. – С. 59–61.

Yatsenko I.G., Bekesha S.N., Bilyk N.T., 2013. Mantle spherules and hialoclasts of explosive origin in Paleogene sediments of Carpathian Skibova Zone. *International scientific-practical conference "Continental neo-volcanism of Alpine Folded Zone of Eastern Europe"*. Kyiv, p. 59–61 (in Russian).

13. Кузьмин А.В., Заяц В.Б. К вопросу о перспективах обнаружения урановых месторождений в вулcano-тектонических структурах Украинского щита // Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколиш. середовища. – 2012. – Вип. 20. – С. 43–49.

Kuzmin A.V., Zayats V.B., 2012. To a question on the prospects of discovery of uranium deposits in volcano-tectonic structures of the Ukrainian shield. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu Geohimiy Navkolyshnyogo Seredovyscha*, vol. 20, p. 43–49 (in Russian).

Стаття надійшла
27.09.2016

РАЗРАБОТКА ЭМПИРИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ ИСПАРЕНИЯ (КОНДЕНСАЦИИ) ВОДЫ ИЗ РАПЫ ВОСТОЧНОГО ЛЕЧЕБНОГО БАСЕЙНА САКСКОГО ОЗЕРА

А.Б. Ситников

*Институт геологических наук НАН Украины, Украина, E-mail: geoj@bigmir.net
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией техногенной гидрогеологии.*

Кратко охарактеризованы особенности состояния водных растворов высокой степени минерализации, в частности морских и озерных рап, типа Сакского озера. Изложен теоретический вывод расчетных формул испарения воды из бассейна лечебной рапы, образованной путем пополнения морской водой и физического испарения, основанных на метеоданных. Сложный характер передвижения влаги в приповерхностном слое предлагается учесть так называемой эмпирической константой, которую оценивают методами баланса солей и воды.

Ключевые слова: водные рассолы, озерная рапа, морская вода, плотность, молярность, химическое и физическое преобразования.

THE DEVELOPMENT OF EMPIRIC-ANALYTICAL FORMULA FOR WATER EVAPORATION (CONDENSATION) FROM BRINE OF THE EASTERN REMEDIAL BASIN OF SAKY LAKE

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 features for the conditions of aqueous solutions at the high mineralization, in particular, marine and lake brine in the sort of Saky Lake are summarized. The theoretical conclusion is present for the calculating formula of water evaporation from the basin of remedial brine formed by the refill of seawater and physical evaporation obtained from the meteorological data. The complicated character of moisture movement in the subsurface layer can be taken into account by the so called empirical constant, which is estimated by the methods of balance among salts and water.

Key words: aqueous salt brine, lake brine, seawater, density, molarity, chemical and physical transformation.

РОЗРОБКА ЕМПІРИКО-АНАЛІТИЧНОЇ ФОРМУЛИ ВИПАРОВУВАННЯ (КОНДЕНСАЦІЇ) ВОДИ З РОПИ СХІДНОГО ЛІКУВАЛЬНОГО БАСЕЙНУ САКСЬКОГО ОЗЕРА

А.Б. Ситніков

*Институт геологічних наук НАН України, Україна, Київ, E-mail: geoj@bigmir.net
Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач лабораторії техногенної гідрогеології.*

Коротко охарактеризовано особливості стану водних розчинів високого ступеня мінералізації, зокрема морських і озерних роп, типу Сакського озера. Викладено теоретичне виведення розрахункових формул випаровування води з басейну лікувальної ропи, утвореної шляхом поповнення морською водою і фізичного випаровування, основаних на метеоданих. Складний характер пересування вологи у приповерхневому шарі пропонується враховувати так званою емпіричною константою, яку оцінюють методами балансу солей і води.

Ключові слова: водні розсоли, озерна ропа, морська вода, щільність, полярність, хімічне та фізичне перетворення.

Необходимость разработки такой эмпирико-аналитической формулы испарения (конденсации) вызвана тем, что для природно-техногенных целей Восточного бассейна Сакского озера появилось основание более достоверного прогнозирования получения лечебной рапы, т. е. обеспечение более эффективного управления гидрологическим режимом этого бассейна. В настоящее время Восточный водоем является местом образования пелоидов (грязи) и рапы, имеющих промышленное и лечебное назначение.

Этот водоем с регулируемым гидрологическим режимом и минерализацией от 96 до 250 кг/м³ за счет природного испарения. Для регулирования создана гидротехническая система, состоящая из каналов и насосных станций, позволяющая отводить излишки рапы в биологический пруд-поглотитель в осенне-зимний период и осуществлять закачку морской воды в летний период для повышения объема и минерализации. Пропускная способность насосов 864 м³/ч не может обеспечить быстрого наполнения водоема, потому подача морской воды осуществляется заблаговременно до периода интенсивного испарения [Чабан, 2014].

Важно, что в пределах Сакского озера проводятся многолетние режимные наблюдения и эксперименты (с 1926 г.) за состоянием поверхностных водоемов, грунтовыми водами. Непосредственно в акватории Восточного бассейна создан стационарный метеорологический пост [Чабан, 2014]. Кстати, природоохранным вопросам района Сакского озера уделялось большое внимание, особенно в последнее десятилетие. В этом отношении следует отметить диссертационную работу на соискание степени кандидата геологических наук В.В. Чабана «Техногенное воздействие на экологическое состояние водосбора и гидроминеральные ресурсы Сакского озера» (2014 г.), в которой научно обосновываются элементы эколого-геологического мониторинга на Сакском озере (поверхностные и подземные воды, метеонаблюдения, почвы) и зоны санитарной охраны 1- и 2-го порядков.

Таким образом, актуальность изучения Восточного лечебного бассейна связана не только с практической целесообразностью,

но также с накопленной параметрической информацией, пригодной после ее критического переосмысливания для достоверных количественных исследований сложных физико-химических процессов, происходящих при участии водных рассолов высокой степени минерализации, типа рапы. В этом отношении результаты исследований могут оказаться весьма полезными с точки зрения показательной применимости при промышленном и лечебном освоении многочисленных приморских озер-лиманов полуострова Крым и материковой Украины (Чокрак, Джарылган, Хаджибейский и Тилигульский лиманы, Сиваш и др.).

Прежде чем приступить к намечаемой разработке формулы расчета испарения с поверхности Восточного водоема Сакского озера, кратко ознакомим с некоторыми особенностями влагопереноса и влагообмена, свойственными сильно минерализованным водным рассолам кислот, оснований, солей в воде (электролитам), образование которых сопровождается взаимодействием молекул растворителя и растворенного вещества, а также изменением их объема.

Итак, вода разных морей и океанов существенно различается соленостью (концентрацией растворенных солей). Количество граммов солей, приходящих на 1 кг морской воды: Мировой океан – 35–36; Средиземное море – 37–39; Красное море – 41–60; Черное море: на поверхности в основной части – 17–20, на поверхности в северо-западной части – 8–13, у дна – 20–22,5; Каспийское море – 11–13; Азовское море – 9–10. Самое соленое из всех морей земного шара Мертвое море содержит до 300 г солей на 1 кг морской воды. Сильно осолоненным является залив Каспийского моря Кара-Богаз-Гол [Кондрашов, Стреналюк, 2004].

Однако, несмотря на разницу в солености, состав солей, растворенных в морской воде, исключительно постоянен и регулируется животными и растениями. Известно, что, когда образовался первичный океан и не было еще животных организмов, состав солей океана был иным.

Для морской воды свойственно отсутствие химического преобразования, т. е. при выпаривании и дальнейшем растворении

осадка водою химический состав растворенных веществ остается практически неизменным. Естественно, химический состав остается постоянным при изменении концентрации морской воды, в частности, вследствие испарения и льдообразования. Кстати, это не исключает загрязнения (потери лечебных свойств) при микропоступлении неблагоприятных неорганических и органических веществ.

Водные растворы характеризуются концентрациями растворенных веществ, растворителя (воды) и всего раствора. Существуют разные способы выражения концентрации растворенных веществ [Браун, Лемей, 1983] – массовая и мольная доли, молярные и моляльные концентрации и др. В наших исследованиях удобнее пользоваться так называемой плотностью вещества (массовое содержание веществ в единице объема раствора), а также мольным количеством вещества. Плотность собственно раствора $\rho_p = (\rho_{H_2O})_p + \sigma_k^{N-1}(\rho_k)_p$, где $(\rho_{H_2O})_p$ – плотность воды в растворе, кг/м³; $\sum_k^{N-1}(\rho_k)_p$ – суммарная плотность (N-1) растворенных веществ «к», за исключением плотности воды. Количество молей растворенных веществ в объеме раствора, так называемая молярная концентрация, отражающая индивидуальную характеристику растворенных веществ, равна $\sum_k^N \frac{(\rho_k)_p}{M_k}$, где M_k – молярная масса вещества «к», в том числе воды, кг/моль. Кстати, вещество «к» может рассматриваться как в виде чистого вещества либо отдельных ионов, растворенных солей-электролитов или неэлектролитов. В частности, вода H₂O – неэлектролит, состоящая из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Поэтому для любого природного агрегатного состояния (жидкого, паробразного, льда) $M_{H_2O} = 18,015 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Из-за неопределенности полной диссоциации растворенных солей (особенно слабых электролитов) на ионы затруднительно предугадать достоверную молярность, которую можно получить с учетом ввода так называемых коэффициентов активности. Эти поправочные коэффициенты определяются опытным путем и ныне изучены лишь при небольшом видовом составе солей. Обратим внимание на большие эти актив-

ности (Na⁺ + K⁺) (0,73–0,975), OH⁻ (0,76–0,98), Ca²⁺ и Mg²⁺ (0,4–0,9) и минимальные для SO₄²⁻ (0,1–0,5).

В рапе Восточного бассейна по данным работы [Чабан, 2014] средняя суммарная минерализация солей составляет в июне и июле 2010 г. $|\sum_k^{N-1}(\rho_k)_p|_{cp}^{июнь} = 135,046$ кг/м³ при следующем составе солей (кг/м³): NaCl (106,01), MgCl₂ (11,60), MgSO₄ (13,50), CaSO₄ (3,43), Ca(HCO₃)₂ (0,235), CaCO₃ (0,63), а $|\sum_k^{N-1}(\rho_k)_p|_{cp}^{июль} = 153,035$ кг/м³ при NaCl (121,40), MgCl₂ (13,06), MgSO₄ (14,97), CaSO₄ (3,36), Ca(HCO₃)₂ (0,27).

Обращаю внимание, что указанные соли хорошие электролиты, для которых коэффициент активности обычно близок к 1. При этом допущении мы подсчитали $|\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k}|_{cp}^{июнь} = 4277,64$ моль/м³, $|\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k}|_{cp}^{июль} = 4868,84$ моль/м³. Известная нам для морской воды, искусственно пополняющей Восточный водоем, с минерализацией $\sum_k^{N-1}(\rho_k)_p = 18,1$ моль/м³ молярность $\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} = 60687,1$ моль/м³. Для морской воды в северной части Черноморского побережья при минерализации 21,09 кг/м³ $\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} = 60687,1$ моль/м³. При этом сравнение со стандартными значениями для морской воды указывает на сходство содержания солей в озерной рапе. Например, для рапы Восточного водоема NaCl составляет на 01.06 и 01.08 2010 г. соответственно 77,7% и 79,4% (стандарт 77,8%), а MgCl₂ на эти же даты – 9,0% и 10,2% (стандарт 10,9%); MgSO₄ – соответственно 10,4% и 11,9% (стандарт 4,7%); CaSO₄ – соответственно 2,7% и 3,0% (стандарт 3,6%). Хотя следующие по количеству соли (Ca(HCO₃)₂ (0,21% и 0,17%) и CaCO₃ (0,03% и 0,07%)) не совпадают со стандартными K₂SO₄ (2,5%), K(HCO₃) (0,3%), MgBr (0,2%). Отмеченное показывает, что все же большинство солей подтверждает сходство рапы с морской водой, точнее, происхождение из нее. На это же указывает предлагаемая упрощенная формула расчета мольного количества растворенных веществ

$$\left| \sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} \right|_{cp} = \left| \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right|_{cp} \cdot \frac{\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p^0}{M_k}}{\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p^0},$$

где 0 – базовое исходное значение для

морской воды, пополняющей исследуемый лечебный водоем. Так:

$$\text{для } \left| \sum_k^{N-1} (\rho_k)_{p|_{\text{ср}}} \right|_{\text{июнь}} = 135,046 \text{ кг/м}^3 \left| \sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} \right|_{\text{ср}} = \\ = \frac{135,046}{21,9 (18,1)} \cdot 668,78(606,87) = 4282,41 \text{ моль/м}^3,$$

$$\text{для } \left| \sum_k^{N-1} (\rho_k)_{p|_{\text{ср}}} \right|_{\text{июль}} = 153,035 \text{ кг/м}^3 \left| \sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} \right|_{\text{ср}} = \\ = \frac{135,046}{21,9 (18,1)} \cdot 668,78(606,87) = 4527,92 \text{ моль/м}^3.$$

Результаты этих расчетов близки ранее указанным для исследуемой рапы со средними значениями минерализации в июне и июле 2010 г.

В первом приближении плотность воды составляет $(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{p|_{T^\circ\text{C}}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}|_{T^\circ\text{C}}} - \sum_k^{N-1} (\rho_k)_p$.

Значение $\rho_{\text{H}_2\text{O}|_{T^\circ\text{C}}}$ определяем из табл. 1 [Винников, Проскураков, 1988; Гороновский и др., 1987].

Таблица 1. Плотность дистиллированной воды [Винников, Проскураков, 1988; Гороновский и др., 1987]

T, °C	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, кг/м ³	T, °C	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, кг/м ³	T, °C	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, кг/м ³	T, °C	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, кг/м ³	T, °C	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, кг/м ³
-10	998,150	0	999,968	4	1000,000	8	999,876	20	998,234
-8	998,690	1	999,927	5	999,992	9	999,809	25	997,077
-6	999,120	2	999,968	6	999,968	10	999,728	30	995,678
-4	999,450	3	—	7	999,930	15	999,127	35	994,061
-2	999,720							40	992,250

Плотность соленой воды превышает плотность дистиллированной и зависит от состава растворенных солей и общей солености. Для классической морской воды (кроме закрытых морей – Каспийского, Аральского, Мертвого) составлены очень подробные «Океанологические таблицы» зависимости плотности от солености и температуры. Но пользоваться ими для соленых озер нельзя, главным образом, из-за превышения содержания иона CO_4^{2-} 5%-ной экви-

валентной доли. В исследуемой рапе его содержание около 7,8%.

Кстати, коэффициент сжимаемости $\beta_{\text{дав}} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{d\rho} \approx -\frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta p} = 5 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Па}}$, в то же время коэффициент объемного расширения $\beta_T = \frac{dV}{V} \cdot \frac{1}{dT} = -\frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dT} \approx \frac{\Delta V}{V_1} \cdot \frac{1}{\Delta T} = (2,06 \div 3,83) \times 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, $V_2 = V_1 (1 + \beta_T \cdot \Delta T)$. β_T см. в табл. 2 [Винников, Проскураков, 1988].

Таблица 2. Коэффициент объемного расширения [Винников, Проскураков, 1988]

T, °C	$\beta_T \cdot 10^4, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	T, °C	$\beta_T \cdot 10^4, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	T, °C	$\beta_T \cdot 10^4, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	T, °C	$\beta_T \cdot 10^4, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
-2	-1,05	4	0	15	1,51	30	3,04
0	-0,67	5	0,16	20	2,06	35	3,45
2	-0,33	10	0,88	25	2,57	40	3,83

Обращаю внимание, что растворы бывают насыщенными и перенасыщенными. Способность вещества растворяться до образования насыщенного раствора называется растворимостью, которая определяется, как количество безводного вещества

в граммах, которое необходимо растворить в 100 г раствора для получения насыщенного раствора, или количество молей растворенного вещества, которое содержится в 1 дм³ насыщенного раствора (моль/дм³). Растворимость зависит от температуры и

природы конкретного вещества. В бинарных системах согласно И.Т. Гороновскому с соавторами [Гороновский и др., 1987] NaCl имеет растворимость при 20 °С 26,4% вес. и 350 кг/м³; а MgCl₂ – 35,3% вес. и 470 кг/м³; MgSO₄ – 25,2% вес. и 320 кг/м³; CaSO₄ – 0,176% вес.; CaCO₃ – 0,006% вес. При испарении воды из многокомпонентных растворов соли выпадают в твердый осадок по-разному. Вначале CaCO₃ с плотностью 2,93 кг/м³, затем CaSO₄ (2,95 кг/м³), MgSO₄ (2,66 кг/м³), NaCl (2,165 кг/м³), MgCl₂ (2,32 кг/м³). Отмечу, что в настоящее время существует геохимическая программа PHREEQC Американской геологической службы (в частности, версия Tony Appelo), которая дает возможность оценить изменение состава водного раствора и выпадающих в осадок солей при испарении. Доктор Михаил Зильбербрандт, из Израиля, успешно опробовавший эту программу на примере прогноза выпадения солей при испарении воды Мертвого моря, любезно предложил нам помощь в освоении указанной программы.

В заключение краткой характеристики особенностей минерализованных водных растворов следует подчеркнуть, что условия образования лечебной рапы Восточного бассейна Сакского озера несомненно отличаются от условий формирования морской воды, в частности Черного моря. Прежде всего, это сказалось на некотором видоизменении солевого состава, особенно менее 3% массового содержания, а также угнетений микрофлоры вследствие техногенного преобразования, а также загрязнения и

осаждения некоторых солей, например гипса. Изоляция Восточного бассейна от моря привела этот водоем в положение гидрохимической неустойчивости, когда вместо циклов (более или менее правильных ежегодных возвращений к исходному состоянию) наблюдается неуклонная тенденция в сторону ежегодного повышения концентрации солей и к пересыханию участков. По отношению к грязевой залежи рапа озера является необходимым условием образования лечебных грязей. Кстати, скорость грязеобразования замедлилась с 1 мм/год до 0,5 мм/год, а в некоторые годы этот процесс даже полностью прекращается [Чабан, 2014]. Чрезвычайно важно, что исследуемая озерная рапа очень быстро восстанавливается до своей высокой летней концентрации даже после сильных дождей, разбавляющих рапу почти до минимальной весенней (90 кг/м³).

Теперь приступим к выводу эмпирико-аналитической формулы испарения (конденсации) воды из рапы исследуемого Восточного бассейна, основанную на метеорологических параметрах, точнее, среднелетних данных по метеостанции «Саки», расположенной в центральной части бассейна (табл. 3), комбинируя их с расчетами испарения по балансовым уравнениям [Ситников, 2016].

Принципиально, вывод этой формулы испарения от традиционного для пресных водоемов отличается тем, что на уровне водной поверхности задается не упругость, соответствующая 100%-ной насыщенной парообразной влаги, а реальное давление,

Таблица 3. Среднелетние данные по метеостанции «Саки» [Чабан, 2014]

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сумма осадков, мм водян. сл./мес.	29	29	24	26	29	41	37	24	29	28	31	30
Температура воздуха, °С	0,8	-0,1	3,0	9,0	15,2	20,4	23,8	22,8	17,7	11,5	6,5	2,5
Относительная влажность воздуха, %	80	79	70	62	59	54	47	47	52	63	76	81
Количество дней с ветром > 15 м/с	1,7	2,0	2,7	2,0	1,2	0,6	0,6	0,4	0,5	1,0	1,9	3,3

в частности, свойственное относительной влажности воздуха у поверхности концентрированного раствора, согласно закону Рауля [Физический..., 1984; Ситников, 2010].

Итак, начнем с того, что в общем случае безинерционная массовая скорость парообразной влаги (диффузионная или конвективная) описывается следующей формулой [Ситников, Ситникова, 2014]:

$$\rho_n \cdot \vartheta_n = -k_n (\text{grad } p_n + g \cdot \rho_n),$$

где k_n – некий коэффициент, с; p – давление, Па; g – ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; ρ_n – плотность парообразной влаги, кг/м^3 .

Придавая значения k_n , массовые скорости диффузии парообразной влаги при $\alpha = 1,75 \div 2,1$ можно оценить так [Физический..., 1984; Ситников, Ситникова, 2014]:

$$\rho_n \cdot \vartheta_n = \frac{D_n M_{\text{H}_2\text{O}}}{RT} \left(\frac{dp_n}{d\ell} + g \rho_n \right);$$

$$k_n = \frac{D_n M_{\text{H}_2\text{O}}}{RT}; D_n = (D_n)_o \left(\frac{T}{273,15} \right)^\alpha,$$

где $(D_n)_o$ – коэффициент диффузии при абсолютной температуре $T = 273,15 \text{ К}$; D_n – коэффициент диффузии при абсолютной температуре $(T) \text{ К}$; ρ_n – плотность парообразной влаги, подчиняющаяся закону идеального газа Клайперона-Менделеева; α – константа, б/р [Винников, Проскуряков, 1988; Горонковский и др., 1987; Физический ..., 1984; Ситников, 2010; Браун, Лемей, 1983]:

$$\rho_n = \frac{p_n \cdot RT}{M_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где p_n – давление парообразной влаги, Па; R – универсальная газовая постоянная, равная $8,3144 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$.

Последнее уравнение в конечноразностной форме имеет несколько иной вид при $p_n = p_n^o \cdot \varphi_n$ [Ситников, 2010; Ситников, Ситникова, 2014]:

$$\rho_{n\ell,T} \cdot \vartheta_n = \frac{-k_n}{(\ell - \ell_o)} (p_{n\ell,T} - p_{n\ell_o,T}) - k_n g \cdot \rho_{n\ell,T},$$

где p_n^o – давление насыщенного пара при температуре $T \text{ }^\circ\text{C}$ и стандартном атмосферном давлении $p_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па}$; φ_n – относительная влажность воздуха, доли от 1; $\ell - \ell_o$ – слой воздуха над поверхностью водоема, м; ℓ_o – отметка поверхности водоема, м.

Испарение сопровождается понижением температуры, скорость ϑ_n положительна и направлена вверх. Отрицательное ее значение указывает на движение парообразной влаги к поверхности водоема и характеризует конденсацию, сопровождающуюся некоторым повышением температуры среды. Собственно установившееся испарение или конденсация происходят при постоянстве температуры.

Отметим, что в природных условиях влагоперенос в воздухе вблизи межфазной границы, точнее, в $\ell - \ell_o$ слое усложняется из-за ветра, пространственной диффузии или турбулентности, незакономерного волнения поверхности водоема и других причин, не подчиняющихся строгому учету. Поэтому приходится отказаться от точного теоретического решения и обратиться к достаточно простым эмпирическим формулам, в частности основанным на законе Дальтона [Винников, Проскуряков, 1988; Ситников, 2010]:

$$(A + B \cdot \vartheta_{\text{вет}}) (p_n - p_n^o),$$

где A, B – эмпирические коэффициенты; $\vartheta_{\text{вет}}$ – скорость ветра.

Именно такой прием успешно использован авторами работы в зависимостях А.К. Константинова, А.Д. Браславского, В.Д. Зайцева и др. [Винников, Проскуряков, 1988] для оценки испарения с поверхности почв по результатам измерения упругости паров на определенной высоте. Все приведенные формулы, имеющие практическое значение, указывают на главенствующую роль ветра.

Однако применение этих формул оказалось неприемлемым для водоемов рассолов, тем более рапы. Чтобы обойти это недоразумение, предлагается приведенное ранее конечноразностное уравнение. Подчеркну, что $P_{n\ell_o,T}$, $P_{n\ell,T}$ – соответственно, давление непосредственно у поверхности рапы, эквивалентное давлению воды в рассоле с $(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_p$, и давление парообразной влаги на высоте от поверхности водоема.

Для удобства изменим рекомендуемую конечноразностную формулу испарения (конденсации), представив в таком виде:

$$p_{п|_{\ell,T}} \cdot \vartheta_{п} = \frac{-k_{п}}{(\ell - \ell_0)} \left(p_{э|_{\ell,T}} - p_{э|_{\ell_0,T}} \right);$$

$$p_{э|_{\ell,T}} = p_{п|_{\ell,T}} + (\ell - \ell_0) \cdot g \cdot \rho_{п|_{\ell,T}}; p_{э|_{\ell_0,T}} = p_{п|_{\ell_0,T}} \cdot$$

Укажем, что $p_{п|_{\ell,T}} = p_{п|_{\ell,T}}^0 \cdot \varphi_{п|_{\ell,T}}$, где $\varphi_{п|_{\ell,T}}$ – реальная относительная влажность воздуха, доли от 1; $p_{п}^0$ – давление насыщенной влаги воздуха, сложно зависящей только от температуры, представленной в специальных таблицах, Па [Таблицы..., 1976; Гороновский и др., 1987].

Парообразная влага может быть оценена так [Физический..., 1984; Ситников, 2010]:

$$p_{п|_{\ell,T}} = p_{п|_{\ell,T}}^0 \frac{M_{H_2O}}{RT}.$$

Давление $p_{п|_{\ell_0,T}}$ можно оценивать по-разному. Во-первых, $p_{п|_{\ell_0,T}} = p_{п|_{\ell_0,T}}^0 \cdot \varphi_{п|_{\ell_0,T}}$, где согласно закону Рауля

$$\varphi_{п|_{\ell_0,T}} = \chi_{H_2O} = \frac{(\rho_{H_2O})_p / M_{H_2O}}{\frac{(\rho_{H_2O})_p}{M_{H_2O}} + \left[\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} \right]_{cp}}$$

при коэффициентах активности воды и растворенных веществ, равных 1.

Достаточно надежно для рапы:

$$\left[\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} \right]_{cp} = \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{cp} \cdot \frac{\left[\sum_k^{N-1} \frac{(\rho_k)_p}{M_k} \right]^0}{\left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]^0}.$$

Во-вторых, для оценки $p_{п|_{\ell_0,T}}^0$ можно

воспользоваться эмпирико-аналитической формулой Магнуса [Винников, Проскуряков, 1988], учитывающей роль изменяющейся температуры при испарении (конденсации) над пресным водоемом (согласно уравнению Клайперона-Клаузиуса):

Наконец, приступим к количественной оценке испарения, точнее, единичного расхода с 1 м² поверхности водоема, используя ранее рекомендуемые равенства.

Итак, для июня:

$$D_{п} = 0,205 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{293,55}{273,15} \right)^{2,072} = 0,240 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; k_{п|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}} = \frac{0,240 \cdot 10^{-4} \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,3144 \cdot 293,55} = 1,77 \cdot 10^{-10} \text{ с} = 0,4588 \cdot 10^{-3} \text{ мес.}; p_{п|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}}^0 = 2395,6 \text{ Па}; p_{п|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}} = 2395,6 \cdot 0,54 = 1293,62 \text{ Па}; \rho_{п|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}} = \frac{1293,62 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,3144 \cdot 293,55} = 9,54 \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3.$$

$$(\ell - \ell_0) \cdot 9,81 \cdot 9,54 \cdot 10^{-3} = (\ell - \ell_0) \cdot 93,59 \cdot 10^{-3} = (\ell - \ell_0) \cdot 0,09359 \text{ Па}.$$

$$p_{п|_{T}}^0 = p_{п|_{0^{\circ}\text{C}}}^0 \cdot 10^{\frac{7,63 \cdot T^{\circ}\text{C}}{241,9 + T^{\circ}\text{C}}},$$

где $p_{п|_{0^{\circ}\text{C}}}^0 = 610,7 \text{ Па}$.

При этом по рекомендациям работы [Винников, Проскуряков, 1988] давление насыщенного пара у поверхности соленого водоема учитывается введением множителя $n/(n + n_1)$, где n – число молей воды, n_1 – число молей солей, по существу равноценное χ_{H_2O} по Раулю [Винников, Проскуряков, 1988; Ситников, 2010]. Отсюда

$$p_{п|_{T}}^0 = p_{п|_{0^{\circ}\text{C}}}^0 \cdot 10^{\frac{7,63 \cdot T^{\circ}\text{C}}{241,9 + T^{\circ}\text{C}}},$$

Напомним, что кроме указанных равенств надо учесть влияние температуры и плотности воды, оценку $k_{п} = \frac{D_{п} M_{H_2O}}{RT}$, где $D_{п} =$

$$= (D_{п})_0 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{\alpha}, \text{ а также } (\rho_{H_2O})_{п|_{T^{\circ}\text{C}}} = \rho_{H_2O}|_{п|_{T^{\circ}\text{C}}} - \left[\sum_k^{N-1} (\rho_k)_p \right]_{cp}.$$

Влияние температуры на плотность воды определяем из табл. 1, 2: ρ в июне – $\rho_{H_2O}|_{20,4^{\circ}\text{C}} = 998,12 \text{ кг/м}^3$, в июле – $\rho_{H_2O}|_{23,8^{\circ}\text{C}} = 997,24 \text{ кг/м}^3$, в августе при температуре $22,8^{\circ}\text{C}$ – $997,58 \text{ кг/м}^3$. Для расчета коэффициентов $k_{п}$ и $D_{п}$ за исходные принимаются $(D_{п})_0 = 0,205 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ при соответствующих среднемесячных температурах и $\alpha = 2,072$ [Таблицы..., 1976; Гороновский и др., 1987]. Кстати, необходимые исходные данные, в частности среднемесячную относительную влажность воздуха, принимаем по табл. 3, а $R = 8,3144 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$, $\rho_{п}^0$ по [Таблицы..., 1976], среднемесячная плотность веществ и их молярное содержание указаны ранее.

Следовательно, $p_{\text{экв}|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}} = p_{\text{п}|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}} + (\ell - \ell_0) \cdot g \cdot \rho_{\text{п}|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}}$.

Отсюда $p_{\text{экв}|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}} = [1293,62 + (\ell - \ell_0) \cdot 0,09859]$ Па.

$[\sum_{\text{к}}^{N-1} (\rho_{\text{к}})_{\text{р}}]_{\text{ср}}^{\text{июнь}} = 135,046 \text{ кг/м}^3$; $(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} = 998,12 - 135,046 = 863,07 \text{ кг/м}^3$;

$[\sum_{\text{к}}^{N-1} \frac{(\rho_{\text{к}})_{\text{р}}}{M_{\text{к}}}]_{\text{ср}}^{\text{июнь}} = 4277,64 \text{ моль/кг}$;

$\varphi_{\text{п}|_{\ell_0, 20,4^{\circ}\text{C}}} = \chi_{\text{H}_2\text{O}|_{\ell_0, 20,4^{\circ}\text{C}}} = \frac{863,07/18 \cdot 10^3 \cdot 100}{863,07/18 \cdot 10^3 + 4277,64} = \frac{47948}{52225,7} = 91,809 \%$.

Отсюда, по варианту 1 $p_{\text{экв}|_{\ell_0, 20,4^{\circ}\text{C}}} = \frac{91,809}{100} \cdot 2395,6 = 2199,4$ Па.

По варианту 2, так как $p_{\text{п}|_{\ell_0, 20,4^{\circ}\text{C}}}^0 = 610,7 \cdot 10^{\frac{155,65}{262,3}} = 610,7 \cdot 10^{0,5934} = 2394,6$ Па, то

$p_{\text{экв}|_{\ell_0, 20,4^{\circ}\text{C}}} \cdot \chi_{\text{H}_2\text{O}|_{\ell_0, 20,4^{\circ}\text{C}}} = 2394,6 \cdot 0,91809 = 2198,46$ Па.

Для июля свойственно:

$D_{\text{п}} = 0,244 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$., $\kappa_{\text{п}|_{\ell, 23,8^{\circ}\text{C}}} = 1,78 \cdot 10^{-10} \text{ с} = 0,492 \cdot 10^{-3} \text{ мес}$; $p_{\text{п}|_{\ell, 20,4^{\circ}\text{C}}}^0 = 2947,2$ Па;

$\rho_{\text{п}|_{\ell, 23,8^{\circ}\text{C}}} = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $p_{\text{п}|_{\ell, 23,8^{\circ}\text{C}}} = 1385,2$ Па.

Следовательно, $p_{\text{экв}|_{\ell, 23,8^{\circ}\text{C}}} = [1385,2 + (\ell - \ell_0) \cdot 10 \cdot 0,0981]$ Па; $[\sum_{\text{к}}^{N-1} (\rho_{\text{к}})_{\text{р}}]_{\text{ср}}^{\text{июль}} =$

$153,035 \text{ кг/м}^3$; $(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{р}} = 997,24 - 153,035 = 844,21 \text{ кг/м}^3$; $[\sum_{\text{к}}^{N-1} \frac{(\rho_{\text{к}})_{\text{р}}}{M_{\text{к}}}]_{\text{ср}}^{\text{июль}} = 4868,84 \text{ моль/кг}$;

$\varphi_{\text{п}|_{\ell_0, 23,8^{\circ}\text{C}}} = \chi_{\text{H}_2\text{O}|_{\ell_0, 23,8^{\circ}\text{C}}} = \frac{844,21/18 \cdot 10^{-3}}{844,21/18 \cdot 10^{-3} + 4868,84} = \frac{46900}{51769,40} = 0,90595$.

Отсюда по варианту 1 $p_{\text{экв}|_{\ell, 23,8^{\circ}\text{C}}} = 2670,02$ Па.

По варианту 2, при $p_{\text{п}|_{\ell_0, 23,8^{\circ}\text{C}}}^0 = 610,7 \cdot 10^{\frac{181,6}{265,7}} = 2946,5$ Па, $\chi_{\text{H}_2\text{O}|_{\ell_0, 23,8^{\circ}\text{C}}} = 0,90595$ (90,60%),

получим $p_{\text{экв}|_{\ell, 23,8^{\circ}\text{C}}} = 2669,38$ Па.

$\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июнь}} = -\frac{0,4588 \cdot 10^{-3}}{\ell - \ell_0} [1293,62 + (\ell - \ell_0) \cdot 0,09359 - 2199,4] = \left(\frac{0,416}{\ell - \ell_0} + 0,000043\right) \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мес}$.

или

$\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июнь}} = -\frac{0,4588 \cdot 10^{-3}}{\ell - \ell_0} [1293,62 + (\ell - \ell_0) \cdot 0,09859 - 2198,46] = \left(\frac{0,414}{\ell - \ell_0} + 0,000045\right) \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мес}$,

а за июль:

$\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июль}} = -\frac{[1385,2 + (\ell - \ell_0) 0,0981 - 2946,5]}{\ell - \ell_0} \cdot 0,492 \cdot 10^{-3} = \left(\frac{0,758}{\ell - \ell_0} + 4,8 \cdot 10^{-5}\right) \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мес}$.

или $\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июль}} = -0,492 \frac{[1385,2 + (\ell - \ell_0) 0,0981 - 2669,18]}{\ell - \ell_0} = \frac{0,632}{\ell - \ell_0} + 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мес}$.

Обратим внимание, что практически из-за малости вторым членом можно пренебречь. Тогда

$$\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июнь}} = \frac{0,416}{\ell - \ell_0} \text{ или } \frac{0,414}{\ell - \ell_0} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мес.},$$

$$\text{а } \rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июль}} = \frac{0,758}{\ell - \ell_0} \text{ или } \frac{0,632}{\ell - \ell_0} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{мес.}$$

Обратим внимание, что рассчитанные по сути эмпирическими балансовыми методами значения испарения отражают реальную обстановку в отличие от предлагаемых аналитических формул. Комбинируя их между собою и хотя бы условно оценив величину $(\ell - \ell_0)$ -го слоя, получим достаточно убедительные для прогнозов формулы не только испарения, но и конденсации. Однако потребуется учесть, что в аналитической формуле предусматривается плотность парообразной влаги, а балансовые методы требуют приведения к плотности жидкой воды, т. е. следует уменьшить аналитические решения в $\rho_{\text{H}_2\text{O}}|_{\text{T}^\circ\text{C}}$ раз. На это же указывают и размерности. Так, согласно [Ситников, 2016], испарение, равное $\rho_{\text{H}_2\text{O}}|_{\text{T}^\circ\text{C}} \frac{V_{\text{исп}}}{S_{\text{бас}}}$, где $V_{\text{исп}}$ – объем бассейна, м³; $S_{\text{бас}}$ – площадь водоема, м² и определенное по балансу воды и солей из Восточного водоема Сакского озера для рапы с $\rho_{\text{H}_2\text{O}}|_{\text{T}^\circ\text{C}}$, оказалось равным в июне 0,222 м водян. сл./мес., а в июле 0,166 м водян. сл./мес.

Список литературы / References

1. 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., 1983. Chemistry – in the centre of sciences. Moscow: Mir Publishing House, part 1, 447 p., part 2, 520 p. (in Russian).
2. 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).
3. 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).

$$\text{Отсюда } \frac{V_{\text{исп}}}{S_{\text{бас}}} = \frac{\rho_{\text{п}} \vartheta_{\text{п}}}{(\rho_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{P}|_{\text{T}^\circ\text{C}}}}$$

Таким образом, с учетом жидкой воды для июня $\frac{\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июнь}}}{998,2} = \frac{0,416}{998,2(\ell - \ell_0)} = 0,222$ м водян.

сл./мес.; значит, $\ell - \ell_0 = 0,0019$ м или $\frac{0,414}{998,2(\ell - \ell_0)} = 0,222$ водян. сл./мес., т. е. $\ell - \ell_0 = 0,0019$ м,

а для июля $\frac{\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta_{\text{п}}^{\text{июль}}}{998,2} = \frac{0,758}{997,24(\ell - \ell_0)} = 0,166$ м водян. сл./мес.;

значит $\ell - \ell_0 = 0,0046$ м или $\frac{0,632}{997,24(\ell - \ell_0)} = 0,1658$ м водян. сл./мес., т. е. $\ell - \ell_0 = 0,0038$ м.

Следовательно, рекомендуемая упрощенная формула имеет вид:

$$V_{\text{исп}} = \frac{P_{\text{экв}}|_{\ell_0, \text{T}^\circ\text{C}} - P_{\text{экв}}|_{\ell, \text{T}^\circ\text{C}}}{A}$$

Указанные значения являются теми эмпирическими постоянными, которые сделают аналитические формулы достоверными. Пока они рассматриваются, как

$A = \frac{\sigma(\ell - \ell_0)}{4} = 0,0038$ м. Их надежность подтверждается достоверностью многочисленных балансовых расчетов. Поэтому актуальна обработка первичной информации с точки зрения оценки погрешностей исходных параметров.

4. Кондрашов А.П. Новейший справочник необходимых знаний / Кондрашов А.П. Стрелюк Ю.В. – М.: Рипол Классик, 2004. – 764 с.

5. Ситников А.Б. Вопросы миграции веществ в грунтах / Ситников А.Б. – Киев, 2010. – 625 с.

6. Ситников А.Б. Обоснование закономерностей фазового преобразования жидкой и парообразной влаги в системе «грунт–воздух–водоем» / А.Б. Ситников, В.А. Ситникова // Геол. журн. – 2014. – № 3 (348). – С. 104–113.

7. Ситников А.Б. Обоснование закономерностей фазового преобразования жидкой и парообразной влаги в системе «грунт–воздух–водоем» / А.Б. Ситников, В.А. Ситникова // Геол. журн. – 2014. – № 3 (348). – С. 104–113.

8. Ситников А.Б., Ситникова В.А., 2014. The substantiation for the regularities of phase transformation of and vaporous moisturein «soil-air-water

body» system. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (348), p. 104–113 (in Russian).

7. Ситников А.Б. Методика оценки испарения с поверхности рапы Восточного лечебного бассейна Сакского озера на основе баланса масс солей и объемов рассолов / А.Б. Ситников // Геол. журн. – 2016. – № 3 (356). – С. 104-112.

Sitnikov A.B. 2016. 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. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (356), p. 104-112 (in Russian).

8. 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).

9. 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).

10. Чабан В.В. Техногенное воздействие на эколого-геологическое состояние водосбора и гидроминеральные ресурсы Сакского озера: дис. ... канд. геол. наук. – Симферополь, 2014. – 231 с.

Chaban V.V., 2014. Technogenic impact on the ecological conditions of watershed and hydro-mineral resources for Saky Lake. Cand. geol. sci., diss. – Simferopol, 231 p. (in Russian).

Статья поступила
23.05.2016

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА РАСЧЕТА ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЛЕГКИМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В ПРОЦЕССЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Статья 3. Теоретическая база расчета трехфлюидной системы
«воздух – 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 гистерезисных основополагающих зависимостей многофазного потока R.J. Lenhard, J.C. Parker [Lenhard, Parker, 1987; Lenhard, 1992] разработана теоретическая база расчета возможных путей дренирования и впитывания, происходящих при формировании и трансформации слоя с мобильными легкими нефтепродуктами при колебании уровня грунтовых вод в условиях разной смачиваемости.

Ключевые слова: расчет трехфлюидной системы, пористая среда, воздух, легкие нефтепродукты, вода, насыщенность, капиллярный напор, проницаемость.

THE ORETICAL FOUNDATION FOR CALCULATION OF FLUID SYSTEMS IN THE SUBSURFACE CONTAMINATED WITH LIGHT PETROLEUM PRODUCTS DURING GROUNDWATER FLUCTUATION

Paper 3. Teoretical foundation for calculation of “air – light petroleum
products – water” three-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.*

Teoretical foundation for three-phase fluid sysytem calculation of possible drainage and imbibition pathes having place in formation and transformation of lays with mobile light petroleum products at groundwater fluctuation and different wettability is developed on hysteretic constitutive relations governing multiphase flow [Lenhard, Parker, 1987; Lenhard, 1992].

Key words: calculation of three-phase fluid systems, porous media, air, light petroleum products, water, saturation, capillary head, permeability.

ТЕОРЕТИЧНА БАЗА РОЗРАХУНКУ ФЛЮЇДНИХ СИСТЕМ У ЗАБРУДНЕНОМУ ЛЕГКИМИ НАФТОПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ У ПРОЦЕСІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД

Стаття 3. Теоретична база розрахунку трифлюїдної системи
«повітря – легкі нафтопродукти – вода» у пористому середовищі

М.С. Огняник¹, Н.К. Пармонова²

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 підставі гістерезисних основоположних залежностей багатофазного потоку R.J. Lenhard, J.C. Parker [Lenhard, Parker, 1987; Lenhard, 1992] розроблено теоретичну базу розрахунку можливих шляхів дренавання й убирання, що відбуваються під час формування та трансформації шару з мобільними легкими нафтопродуктами у процесі коливанні рівня ґрунтових в умовах різної змочуваності.

Ключові слова: розрахунок трифлюїдної системи, пористе середовище, повітря, легкі нафтопродукти, вода, насиченість, капілярний напір, проникність.

Введение

В большинстве случаев трехфлюидная система «воздух – легкий нефтепродукт (ЛНП) – вода» («a – o – w») образуется путем поступления ЛНП в двухфлюидную систему «a – w» или дренирования воды или/и ЛНП из двухфлюидной системы «o – w» с поступлением воздуха. При этом выполняются последовательность в смачиваемости: вода → ЛНП → воздух (рис. 1), и условие системы «a – o – w»: $\theta_\ell = \theta_w + \theta_o < \theta_s$, где θ – содержание жидкости (ℓ), воды (w), ЛНП (o); θ_s – полное содержание флюидов (a + o + w) в грунте, что обычно принимается равным его пористости.

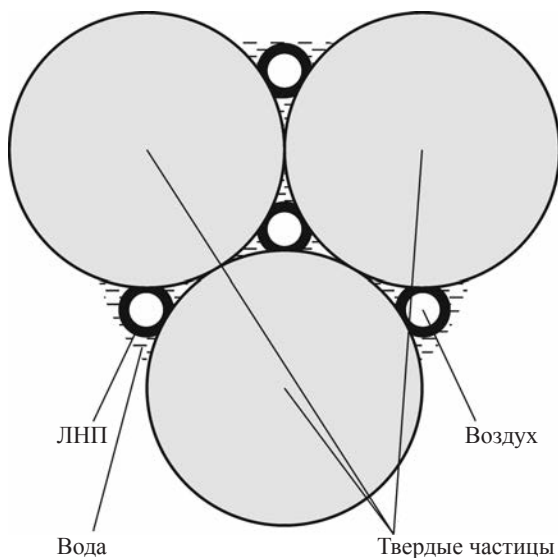


Рис. 1. Расположение флюидов в поровом пространстве при условии смачиваемости «вода – ЛНП – воздух»

Fig. 1. Fluid disposition in porous space with “water – light petroleum products – air” wettability

Система «a – o – w» представляет собой капиллярную зону, формирующуюся в зоне аэрации (ЗА) над насыщенным водой или водой и мобильным ЛНП слоем. В процессе подъема уровня грунтовых вод (УГВ) мобильный ЛНП переходит в капиллярное состояние и затем защемляется водой, вытесняя воздух. На рис. 1 между твердыми частицами пространство «воздух» заполняется водой и классифицируется как заполненное водой с защемленным ЛНП. Этот процесс наблюдался на загрязненных авиационным керосином участках в районе аэродромов городов Луцк, Прилуки, Узин, Борисполь

и др. Кроме того, он изучен с помощью физического моделирования на колонне с песком, что будет детально описано и проанализировано в последующих статьях.

При дальнейшем опускании УГВ происходит разгерметизация пор путем вытекания из них воды под влиянием сначала гидравлического градиента, а затем в результате передвижения вниз воды и ЛНП под действием капиллярных сил до их постоянных остаточных содержаний. Наличие остаточных содержаний как воды, так и ЛНП в трехфлюидной системе при дренировании показано в работах [Hoag, Marley, 1986; Jarsjö et al., 1994; Steffy et al., 1997; Van Geel, Roy, 2002; Wipfler, van der Zee, 2001], а также подтверждено нашими исследованиями, что изложено в статье [Парамонова и др., 2016].

В процессе опускания УГВ и стекания воды и ЛНП в поры будет заходить воздух и формироваться новая трехфлюидная система «a – o – w», но уже со смачиванием: вода → ЛНП → вода → воздух, как показано на рис. 2.

В связи с различным расположением флюидов в поровом пространстве при формировании трехфлюидной системы рассмотрены два подхода к разработке теоретической базы ее расчета.

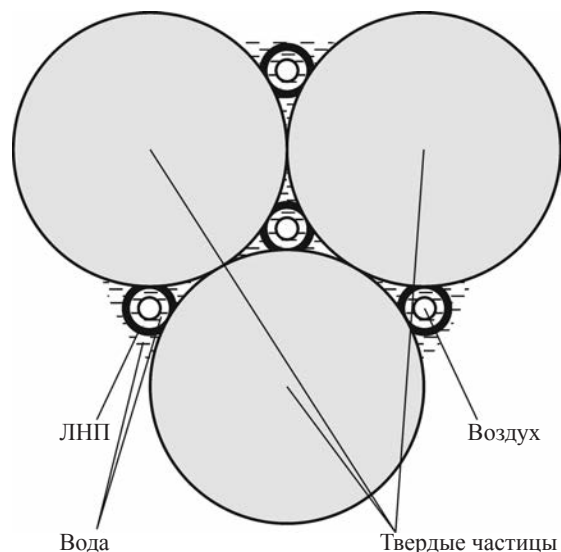


Рис. 2. Расположение флюидов в поровом пространстве при опускании УГВ после полного насыщения и защемления ЛНП

Fig. 2. Fluid disposition in porous space at water table lowering after saturation and light petroleum products trapping

1. Расчет трехфлюидной системы при смачиваемости: вода → ЛНП → воздух

При допущении, что взаимодействие флюидов с пористой средой не изменяет структуру и пористость породы, расчет трехфлюидной системы базируется на применении зависимостей $\theta - h_c$ (содержание – капиллярный напор), полученных для двухфлюидных систем «а – о» и «о – w». Впервые этот подход был предложен М.С. Leverett [Leverett, 1941], который постулировал, что в системе «газ – нефть – жидкость» полная жидкостная насыщенность будет функцией кривизны поверхности раздела «газ – нефть», которая в условиях монотонного вытеснения при отсутствии взаимодействия с твердой фазой определяется распределением пор в грунте. Исходя из этого допущения, для прогноза $\theta - h_c$ в трехфлюидной системе по измерениям в двухфлюидной К. Aziz, A. Settari [Aziz, Settari, 1979], J.H. Peery, E.H. Herron [Peery, Herron, 1969], N.D. Shulter [Shulter, 1969] использовали аппроксимации:

$$\theta_w^{aow}(h_{ow}) = \theta_w^{ow}(h_{ow})^* \quad (1)$$

$$\theta_\ell^{aow}(h_{ao}) = \theta_o^{ao}(h_{ao}) \quad (2)$$

и показали, что содержания воды и жидкости ($\theta_\ell = \theta_w + \theta_o$) рассчитываются отдельно, а содержание ЛНП определяется так:

$$\theta_o = \theta_\ell - \theta_w. \quad (3)$$

При формировании трехфлюидной системы содержание воды может:

а) быть постоянным ($\theta_w = \text{const} - \theta_{wk}^{aow}$) и равняться конечному содержанию в предыдущей двухфлюидной системе «а – w». Тогда $\theta_w = \text{const}$;

б) уменьшаться (дренирование), тогда $h_{ow1} < h_{ow2} < \dots < h_{owk}$ – происходит основная ветвь дренирования воды (ОВД^w);

в) увеличиваться (впитывание), тогда $h_{ow1} > h_{ow2} > \dots > h_{owk}$ – происходит основная ветвь впитывания воды (ОВВ^w).

Если трехфлюидная система формируется из системы «о – w», то содержание жидкости (ℓ) всегда уменьшается и происходит процесс основной ветви дренирования жидкости (ОВД^ℓ):

$$h_{ao1} < h_{ao2} < \dots < h_{aok}.$$

Если трехфлюидная система формируется из системы «а – w», то с поступлением ЛНП увеличивается содержание жидкости и происходит процесс основной ветви впитывания жидкости (ОВВ^ℓ):

$$h_{ao1} > h_{ao2} > \dots > h_{aok}.$$

Дальше содержание воды или ЛНП может увеличиваться или уменьшаться вследствие дренирования или впитывания воды и/или ЛНП, в результате чего происходят процессы произвольных ветвей впитывания и дренирования воды (ПзВВ^w, ПзВД^w) или жидкости (ПзВВ^ℓ, ПзВД^ℓ).

R.J. Lenhard, J.C. Parker [Lenhard, Parker, 1992] для описания трехфлюидных гистерезисных зависимостей $\theta - h_c$, включая захват несмачивающих флюидов, ввели кажущуюся водную и полножидкостную насыщенности:

$$\bar{\theta}_w = \bar{\theta}_w + \bar{\theta}_{o,tw} + \bar{\theta}_{a,tw}, \quad (4)$$

$$\bar{\theta}_\ell = \bar{\theta}_w + \bar{\theta}_o + \bar{\theta}_{a,t}, \quad (5)$$

где $\bar{\theta}_w = \frac{\theta_w - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr}}$, $\bar{\theta}_\ell = \frac{\theta_w + \theta_o - \theta_{wr}}{\theta_s - \theta_{wr}}$ – отно-

сительная насыщенность воды и жидкости; $\bar{\theta}_{o,tw}$ – относительная насыщенность захваченного в воде ЛНП; $\bar{\theta}_{a,t} = \bar{\theta}_{a,tw} + \bar{\theta}_{a,to}$ – относительная насыщенность захваченного воздуха в воде (a,tw) и ЛНП (a,to); $\bar{\theta}_{wr}$ – остаточное неустранимое содержание воды при ее дренировании в системе «о – w», т. е. остаточное содержание воды при дренировании трехфлюидной системы (θ_{wr}^{aow}) не учитывается, а также не учитывается остаточная насыщенность ЛНП (θ_{or}^{aow}).

На основании исследований, изложенных в статье [Парамонова и др., 2016], в дальнейших расчетах в соотношении $\bar{\theta}_w$ вместо θ_{wr} ведено θ_{wr}^{aow} , а в соотношении $\bar{\theta}_\ell - \bar{\theta}_\ell^{aow} = \bar{\theta}_{wr}^{aow} + \bar{\theta}_{or}^{aow}$, определяемые экспериментально.

В приведенных ниже расчетах ветвей насыщения используются зависимости М.Т. van Genuchten [van Genuchten, 1980], записанные для кажущихся насыщенностей и оценки захваченных несмачивающих флюидов согласно работе R.J. Lenhard, J.C. Parker [Lenhard, Parker, 1992].

* В дальнейшем индекс «aow» для обозначения трехфлюидных систем опускается.

Расчет ОВД

Расчет θ_w по h_{ow}

$$\bar{\theta}_w = \left[1 + (\alpha_{ow}^d h_{ow})^{d_{\varepsilon_{ow}}} \right]^{-d_{m_{ow}}}; \quad (6)$$

$$\theta_w = \bar{\theta}_w (\theta_s - \theta_{wr}^{aow}) + \theta_{wr}^{aow}. \quad (7)$$

Расчет θ_ℓ по h_{ao} и θ_o

$$\bar{\theta}_\ell = \left[1 + (\alpha_{ao}^d h_{ao})^{d_{\varepsilon_{ao}}} \right]^{-d_{m_{ao}}}; \quad (8)$$

$$\theta_\ell = \bar{\theta}_\ell (\theta_s - \theta_{\ell r}^{aow}) + \theta_{\ell r}^{aow}; \quad (9)$$

$$\theta_o = \theta_\ell - \theta_w. \quad (10)$$

Расчет h_{ow} по θ_w

$$\bar{\theta}_w = \frac{\theta_w - \theta_{wr}^{aow}}{\theta_s - \theta_{wr}^{aow}}; \quad h_{ow} = \frac{1}{d_{\alpha_{ow}}} \left[\left(\frac{1}{d_{\bar{\theta}_w}} \right)^{\frac{1}{d_{m_{ow}}}} - 1 \right]^{\frac{1}{d_{\varepsilon_{ow}}}}. \quad (11)$$

Расчет h_{ao} по θ_w и θ_o

$$\theta_\ell = \theta_o + \theta_w; \quad \bar{\theta}_\ell = \frac{\theta_\ell - \theta_{\ell r}^{aow}}{\theta_s - \theta_{\ell r}^{aow}}; \quad h_{ao} = \frac{1}{d_{\alpha_{ao}}} \left[\left(\frac{1}{d_{\bar{\theta}_\ell}} \right)^{\frac{1}{d_{m_{ao}}}} - 1 \right]^{\frac{1}{d_{\varepsilon_{ao}}}}. \quad (12)$$

Расчет напоров h_o и h_w

$$h_o = -\frac{h_{ao}}{\rho}; \quad h_w = -(h_{ow} + h_{ao}). \quad (13)$$

Расчет ОВВ

Перед расчетом определяются:

$\Delta\theta_w^{aw}$ – эффективная насыщенность воды в конечной точке «а – w» системы; задается или берется из расчета системы «а – w»;

$\bar{\theta}_w^{\min}$ – наименьшее значение кажущейся насыщенности воды с момента появления ЛНП; при первой ОВД^{ow} – значение $\bar{\theta}_w$ последней точки ОВД^{ow};

$\bar{\theta}_\ell^{\min}$ – минимальное значение кажущейся полножидкостной насыщенности с момента появления ЛНП; рассчитывается по первому члену ОВВ^l или последнему члену ОВД^l.

Расчет θ_w по h_{ow}

$$1. \quad \bar{\theta}_w = \left[1 + ({}^i\alpha_{ow} h_{ow})^{i_{\varepsilon_{ow}}} \right]^{-i_{m_{ow}}}. \quad (14)$$

$$2. \quad \bar{\theta}_w = \bar{\theta}_w - \bar{\theta}_{a,tw} - \bar{\theta}_{o,tw}, \quad (15)$$

где насыщенность заземленного воздуха в воде ($\bar{\theta}_{a,tw}$) рассчитывается так:

$$\text{если } \bar{\theta}_\ell^{\min} > \Delta\bar{\theta}_w^{aw} \text{ и } \bar{\theta}_w \leq \Delta\bar{\theta}_w^{aw}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw} = 0; \quad (16)$$

$$\text{если } \bar{\theta}_\ell^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}} \text{ и } \bar{\theta}_w \geq \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw} = i \bar{\theta}_{a,tw} \frac{\bar{\theta}_w - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}}{1 - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}}; \quad (17)$$

$$\text{если } \bar{\theta}_\ell^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}} \text{ и } \bar{\theta}_w \geq \bar{\theta}_\ell^{\min}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw} = i \bar{\theta}_{a,tw} \frac{\bar{\theta}_\ell^{\min} - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}}{1 - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}} + i \bar{\theta}_{a,to} \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_\ell^{\min}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}}; \quad (18)$$

$$\text{если } \bar{\theta}_\ell^{\min} \leq \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}} \text{ и } \bar{\theta}_w \geq \bar{\theta}_\ell^{\min}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw} = i \bar{\theta}_{a,to} \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_\ell^{\min}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}}; \quad (19)$$

$$\text{если } \bar{\theta}_\ell^{\min} \leq \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}} \text{ и } \bar{\theta}_w \leq \bar{\theta}_\ell^{\min}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw} = 0, \quad (20)$$

где $i \bar{\theta}_{a,tw}$ и $i \bar{\theta}_{a,to}$ рассчитываются подобно двухфлюидной системе:

$$i \bar{\theta}_{a,tw} = \frac{1 - \bar{\theta}_w^{\min}}{1 + R_{aw} (1 - \bar{\theta}_w^{\min})}; \quad i \bar{\theta}_{a,to} = \frac{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}}{1 + R_{ao} (1 - \bar{\theta}_\ell^{\min})}, \quad (21)$$

где $R_{aw} = \frac{1}{\bar{\theta}_{at,aw}^m} - 1$; $R_{ao} = \frac{1}{\bar{\theta}_{at,ao}^m} - 1$; (22)

$$\bar{\theta}_{at,aw}^m = 1 - \frac{i \theta_{w,aw}^m - \theta_{wr}^{\text{aw}}}{\theta_s - \theta_{wr}^{\text{aw}}}; \quad \bar{\theta}_{at,ao}^m = 1 - \frac{i \theta_{o,ao}^m - \theta_{or}^{\text{ao}}}{\theta_s - \theta_{or}^{\text{ao}}},$$

где $i \theta_{w,aw}^m$ – максимальное содержание воды в процессе ОБВ в системе «а – w»; $i \theta_{o,ao}^m$ – максимальное содержание ЛНП в процессе ОБВ в системе «а – о»; θ_{wr}^{aw} , θ_{or}^{ao} – остаточное содержание воды и ЛНП в процессе ОВД соответственно в системах «а – w» и «а – о».

$\bar{\theta}_{o,tw}$ рассчитывается по формуле:

$$\bar{\theta}_{o,tw} = i \theta_{o,tw} \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_w^{\min}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}}, \quad (23)$$

где $i \theta_{o,tw} = \frac{1 - \bar{\theta}_w^{\min}}{1 + R_{ow} (1 - \bar{\theta}_w^{\min})}$; $R_{ow} = \frac{1}{\bar{\theta}_{ot,ow}^m} - 1$; (24)

а $\bar{\theta}_{ot,ow}^m = 1 - \frac{i \theta_{w,ow}^m - \theta_{wr}^{\text{ow}}}{\theta_s - \theta_{wr}^{\text{ow}}}$,

где $i \theta_{w,ow}^m$ – максимальное содержание воды в процессе ОБВ в системе «о – w»;

θ_{wr}^{ow} – остаточное содержание воды в процессе ОВД в системе «о – w».

$$3. \quad \theta_w = \bar{\theta}_w (\theta_s - \theta_{wr}^{\text{aow}}) + \theta_{wr}^{\text{aow}}. \quad (25)$$

Расчет θ_ℓ по h_{ao} и θ_o

$$1. \quad \bar{\theta}_\ell = \left[1 + \left(i \alpha_{ao} h_{ao} \right)^{i \varepsilon_{ao}} \right]^{-i m_{ao}}. \quad (26)$$

$$2. \quad \bar{\theta}_\ell = \bar{\bar{\theta}}_\ell - \bar{\theta}_{at} + \bar{\theta}_{\alpha,tw}, \quad (27)$$

где $\bar{\theta}_{\alpha,tw}$ определяется по формулам (23), (24).

$$\text{При } \bar{\theta}_\ell^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}} \quad \bar{\theta}_{at} = i \bar{\theta}_{\alpha,tw} \frac{\bar{\bar{\theta}}_\ell - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}}{1 - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}} + i \bar{\theta}_{\alpha,to} \frac{\bar{\bar{\theta}}_\ell - \bar{\theta}_\ell^{\min}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}}. \quad (28)$$

$$3. \quad \theta_\ell = \bar{\theta}_\ell (\theta_s - \theta_{\ell r}^{\text{aow}}) + \theta_{\ell r}^{\text{aow}*}. \quad (29)$$

$$4. \quad \theta_o = \theta_\ell - \theta_w. \quad (30)$$

Расчет h_{ow} по θ_w^i

$$1. \quad \bar{\theta}_w^i = \frac{\theta_w - \theta_{wr}^{\text{aow}}}{\theta_s - \theta_{wr}^{\text{aow}} - \theta_{ot,ow}^m}; \quad \theta_{ot,ow}^m = \theta_s - i \theta_{w,ow}. \quad (31)$$

2. Составляется система уравнений:

$$\begin{cases} \bar{\bar{\theta}}_w^i = \bar{\theta}_w + \bar{\theta}_{\alpha,tw} + \bar{\theta}_{\alpha,tw}^i; \\ \theta_{\alpha,tw} - \text{по формулам (23), (24);} \\ \theta_{\alpha,tw}^i - \text{по формулам (16) – (20).} \end{cases} \quad (32)$$

Решением этой системы находятся $\bar{\theta}_{\alpha,tw}$, $\bar{\theta}_{\alpha,tw}^i$, и $\bar{\bar{\theta}}_w^i$.

$$3. \quad h_{ow} = \frac{1}{i \alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\bar{\theta}}_w^i} \right)^{\frac{1}{i m_{ow}}} - 1 \right]^{\frac{1}{i \epsilon_{ow}}}. \quad (33)$$

Расчет h_{ao} по θ_ℓ^i

$$1. \quad \bar{\theta}_\ell^i = \frac{\theta_\ell^i - \theta_{\ell r}^{\text{aow}}}{\theta_s - \theta_{\ell r}^{\text{aow}}}. \quad (34)$$

$$2. \quad \begin{cases} \bar{\bar{\theta}}_\ell^i = \bar{\theta}_\ell^i + \bar{\theta}_{at} - \bar{\theta}_{\alpha,tw}^i; \\ \bar{\theta}_{\alpha,tw}^i - \text{по формулам (23), (24);} \\ \bar{\theta}_{at} - \text{по формулам (16) – (20).} \end{cases} \quad (35)$$

Решением этой системы находятся $\bar{\theta}_{at}$, $\bar{\theta}_{\alpha,tw}^i$ и $\bar{\bar{\theta}}_\ell^i$.

$$3. \quad h_{ao} = \frac{1}{i \alpha_{ao}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\bar{\theta}}_\ell^i} \right)^{\frac{1}{i m_{ao}}} - 1 \right]^{\frac{1}{i \epsilon_{ao}}}. \quad (36)$$

Расчет напоров h_o и h_w

$$h_o = -\frac{h_{ao}}{\rho}; \quad h_w = -(h_{ao} + h_{ow}). \quad (37)$$

* Получение остаточного содержания жидкости (w + o) в трехфлюидной системе изложено в статье [Парамонова и др., 2016].

Расчет ПзВД

ПзВД^w формируются после ОБВ^w и ПзВВ^w, а ПзВД^l – после ОБВ^l и ПзВВ^l.

Расчет $\bar{\theta}_w^d$ по h_{ow}

$$1. \quad \bar{\theta}_w^d(h_{ow}) = \frac{\left[\bar{\theta}_w^d(h_{ow}) - \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di}) \right] \left[\Delta \bar{\theta}_{w,id} - \Delta \bar{\theta}_{w,di} \right]}{\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id}) - \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di})} + \Delta \bar{\theta}_{w,di}, \quad (38)$$

где $\bar{\theta}_w^d(h_{ow})$, $\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di})$, $\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id})$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{\theta}_w^d = \left[1 + (\alpha_{ow}^d h)^{d \varepsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}}, \quad (39)$$

где $h = \{h_{ow}, \Delta h_{ow,di}, \Delta h_{ow,id}\}$ – капиллярный напор h_{ow} соответственно в расчетной точке и в поворотных точках di и id . $\Delta \bar{\theta}_{w,id}$, $\Delta \bar{\theta}_{w,di}$ берутся из расчета соответствующих предыдущих поворотных точек.

2. Из-за того что ПзВД^w формируется после ветвей впитывания, в воде могут оставаться захваченные воздух и ЛНП, которые нужно определять:

$\bar{\theta}_{a,tw}$ – по формулам (16)–(20); $\bar{\theta}_{o,tw}$ – по уравнениям (23), (24).

Кроме того, заземленный ЛНП ($\bar{\theta}_{o,tw}$) может вмещать заземленный ранее воздух, обусловленный поверхностями «воздух – вода» ($\bar{\theta}_{a,tw}^o$) и поверхностями «воздух – ЛНП» ($\bar{\theta}_{a,to}^o$). Тогда заземленный ЛНП будет иметь кажущуюся насыщенность $\bar{\theta}_{o,tt}$, которая равняется $\bar{\theta}_{o,tw}$.

Расчет сопутствующего заземления воздуха заземленным ЛНП выполняется следующим образом:

$$\text{Если } \bar{\theta}_w > \bar{\theta}_\ell^{\min} \text{ и } \bar{\theta}_\ell^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{aw}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,to}^o = i \bar{\theta}_{a,to} \bar{\theta}_{o,tt} \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_\ell^{\min*}}{\left(1 - \bar{\theta}_w^{\min*}\right) \left(1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}\right)}, \quad (40)$$

(* – корректируются во время расчетов: берутся минимальные значения в течение формирования трехфлюидной системы)

$$\text{где } i \bar{\theta}_{o,tt} = \frac{1 - \bar{\theta}_w^{\min}}{1 + R_{ow} \left(1 - \bar{\theta}_w^{\min}\right)}; \bar{\theta}_{o,tt} = \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_w^{\min}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} i \bar{\theta}_{o,tt}, \quad (41)$$

$$\text{и если } \bar{\theta}_w^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{aw}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw}^o = i \bar{\theta}_{a,tw} \bar{\theta}_{o,tt} \frac{\bar{\theta}_\ell^{\min} - \bar{\theta}_w^{\min}}{\left(1 - \bar{\theta}_w^{\min}\right) \left(1 - \Delta \bar{\theta}_w^{aw}\right)}, \quad (42)$$

$$\text{и если } \bar{\theta}_w^{\min} \leq \Delta \bar{\theta}_w^{aw}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw}^o = i \bar{\theta}_{a,tw} \bar{\theta}_{o,tt} \frac{\bar{\theta}_\ell^{\min} - \Delta \bar{\theta}_w^{aw}}{\left(1 - \bar{\theta}_w^{\min}\right) \left(1 - \Delta \bar{\theta}_w^{aw}\right)}. \quad (43)$$

$$\text{Если } \bar{\theta}_w \leq \bar{\theta}_\ell^{\min} \text{ и } \bar{\theta}_\ell^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{aw}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,to}^o = 0, \quad (44)$$

$$\text{и если } \bar{\theta}_w^{\min} > \Delta \bar{\theta}_w^{aw}, \text{ то } \bar{\theta}_{a,tw}^o = i \bar{\theta}_{a,tw} \bar{\theta}_{o,tt} \frac{\bar{\theta}_w - \Delta \bar{\theta}_w^{aw}}{\left(1 - \bar{\theta}_w^{\min}\right) \left(1 - \Delta \bar{\theta}_w^{aw}\right)}, \quad (45)$$

и если $\bar{\theta}_w^{\min} \leq \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}$, то

$$\bar{\theta}_{a,tw}^o = {}^i \bar{\theta}_{a,tw} \cdot {}^i \bar{\theta}_{o,tt} \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_w^{\min}}{(1 - \bar{\theta}_w^{\min})(1 - \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}})}. \quad (46)$$

Если $\bar{\theta}_w > \bar{\theta}_\ell^{\min}$ и $\bar{\theta}_\ell \leq \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}$, то $\bar{\theta}_{a,to}^o = {}^i \bar{\theta}_{a,to} \cdot {}^i \bar{\theta}_{o,tt} \frac{\bar{\theta}_w - \bar{\theta}_\ell^{\min}}{(1 - \bar{\theta}_w^{\min})(1 - \bar{\theta}_\ell^{\min})}$; (47)

$$\bar{\theta}_{a,tw}^o = 0. \quad (48)$$

Если $\bar{\theta}_w \leq \bar{\theta}_\ell^{\min}$ и $\bar{\theta}_\ell \leq \Delta \bar{\theta}_w^{\text{aw}}$, то $\bar{\theta}_{a,to}^o = 0$, $\bar{\theta}_{a,tw}^o = 0$. (49)

3.
$$\bar{\theta}_w^d = \bar{\theta}_w^d - \bar{\theta}_{a,tw} - \bar{\theta}_{o,tt}. \quad (50)$$

4.
$$\theta_w^d = \bar{\theta}_w^d (\theta_s - \theta_{wr}^{\text{aow}}) + \theta_{wr}^{\text{aow}}. \quad (51)$$

Расчет θ_ℓ^d по h_{ao} и θ_o^d

1.
$$\bar{\theta}_\ell^d(h_{ao}) = \frac{\left[\bar{\theta}_\ell^d(h_{ao}) - \bar{\theta}_\ell^d(\Delta h_{ao,di}) \right] \left[\Delta \bar{\theta}_{\ell,id} - \Delta \bar{\theta}_{\ell,di} \right]}{\bar{\theta}_\ell^d(\Delta h_{ao,id}) - \bar{\theta}_\ell^d(\Delta h_{ao,di})} + \Delta \bar{\theta}_{\ell,di}, \quad (52)$$

где $\bar{\theta}_\ell^d(h_{ao})$, $\bar{\theta}_\ell^d(\Delta h_{ao,di})$, $\bar{\theta}_\ell^d(\Delta h_{ao,id})$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{\theta}_\ell^d = \left[1 + \left({}^d \alpha_{ao} h \right)^{d \varepsilon_{ao}} \right]^{-d m_{ao}}, \quad (53)$$

где $h = \{h_{ao}, \Delta h_{ao,di}, \Delta h_{ao,id}\}$ – капиллярный напор h_{ao} соответственно в расчетной точке и в поворотных точках di и id . $\Delta \bar{\theta}_{\ell,id}$, $\Delta \bar{\theta}_{\ell,di}$ берутся из расчета соответствующих предыдущих поворотных точек.

2. Расчет $\bar{\theta}_{at}$ – по формуле (28), а расчет сопутствующего заземленного воздуха выполняется аналогично п. 2 (уравнения (40)–(49)).

3.
$$\bar{\theta}_\ell^d = \bar{\theta}_\ell^d - \bar{\theta}_{at} + (\bar{\theta}_{o,tt} - \bar{\theta}_{a,tw}^o - \bar{\theta}_{a,to}^o). \quad (54)$$

4.
$$\theta_\ell^d = \bar{\theta}_\ell^d (\theta_s - \theta_{lr}^{\text{aow}}) + \theta_{lr}^{\text{aow}}. \quad (55)$$

5.
$$\theta_o^d = \theta_\ell^d - \theta_w^d. \quad (56)$$

Расчет h_{ow} по θ_w

1.
$$\bar{\theta}_w^d(h_{ow}) = \frac{\left[\bar{\theta}_w^d(h_{ow}) - \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di}) \right] \left[\Delta \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id}) - \Delta \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di}) \right]}{\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id}) - \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di})} + \Delta \bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di}), \quad (57)$$

где $\Delta \bar{\theta}_w^d$, $\bar{\theta}_w^d$ берутся из расчета предыдущих поворотных точек; $\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,di})$ и $\bar{\theta}_w^d(\Delta h_{ow,id})$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{\theta}_w^d = \left[1 + \left({}^d \alpha_{ow} h \right)^{d \varepsilon_{ow}} \right]^{-d m_{ow}}, \quad (58)$$

где $h = \{\Delta h_{ow,di}, \Delta h_{ow,id}\}$.

$\bar{\theta}_w(h_{ow})$ находится решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \bar{\theta}_w(h_{ow}) = \bar{\theta}_w + \bar{\theta}_{a,tw} + \bar{\theta}_{o,tw}; \\ \bar{\theta}_{a,tw} \text{ — по формулам (16) – (20);} \\ \bar{\theta}_{o,tw} \text{ — по формулам (23), (24);} \\ \bar{\theta}_w = \frac{\theta_w - \theta_{wr}^{aow}}{\theta_s - \theta_{wr}^{aow} - \theta_{or}^m}. \end{cases} \quad (59)$$

$$2. \quad h_{ow} = \frac{1}{d\alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{d\bar{\theta}_w(h_{ow})} \right)^{\frac{1}{d m_{ow}}} - 1 \right]^{\frac{1}{d \varepsilon_{ow}}}. \quad (60)$$

Расчет h_{ao} по θ_ℓ

$$1. \quad \bar{\theta}_\ell(h_{ao}) = \frac{\left[\bar{\theta}_\ell(h_{ao}) - \bar{\theta}_{\ell,di}^{\Delta} \right] \left[d\bar{\theta}_\ell(\Delta h_{ao,id}) - \Delta \bar{\theta}_\ell(\Delta h_{ao,di}) \right]}{\bar{\theta}_{\ell,id}^{\Delta} - \bar{\theta}_{\ell,di}^{\Delta}} + \bar{\theta}_\ell(\Delta h_{ao,di}), \quad (61)$$

где $\bar{\theta}_\ell(\Delta h_{ao,di})$ и $\bar{\theta}_\ell(\Delta h_{ao,id})$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{\theta}_\ell = \left[1 + (d\alpha_{ao} h)^{d m_{ao}} \right]^{\frac{1}{d \varepsilon_{ao}}}, \quad (62)$$

где $h = \{ \Delta h_{ao,di}, \Delta h_{ao,id} \}$, а $\bar{\theta}_{\ell,id}^{\Delta}, \bar{\theta}_{\ell,di}^{\Delta}$ берутся из расчета предыдущих поворотных точек.

$\bar{\theta}_\ell(h_{ao})$ находится решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \bar{\theta}_\ell(h_{ao}) = \bar{\theta}_\ell + \bar{\theta}_{at} - (\bar{\theta}_{o,tw} - \bar{\theta}_{a,tw}^o - \bar{\theta}_{a,to}^o); \\ \bar{\theta}_{at} \text{ — по формуле (28);} \\ \bar{\theta}_{o,tw} \text{ — по формулам (23), (24);} \\ \bar{\theta}_{a,tw}^o \text{ и } \bar{\theta}_{a,to}^o \text{ — по формулам (40) – (49);} \\ \bar{\theta}_\ell = \frac{\theta_w + \theta_o - \theta_{\ell r}^{aow}}{\theta_s - \theta_{\ell r}^{aow}}. \end{cases} \quad (63)$$

$$2. \quad h_{ao} = \frac{1}{d\alpha_{ao}} \left[\left(\frac{1}{d\bar{\theta}_\ell(h_{ao})} \right)^{\frac{1}{d m_{ao}}} - 1 \right]^{\frac{1}{d \varepsilon_{ao}}}. \quad (64)$$

Расчет напоров h_o и h_w — по формуле (37).

Расчет ПзВВ

ПзВВ^w формируется после ОВД^w или ПзВД^w, а ПзВВ^l – после ОВД^l или ПзВД^l.

Расчет $\bar{\theta}_w^i$ по h_{ow}

$$1. \quad \bar{\theta}_w^i(h_{ow}) = \frac{\left[\bar{\theta}_w^i(h_{ow}) - \bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow, id}) \right] \left[\Delta \bar{\theta}_{w, di} - \Delta \bar{\theta}_{w, id} \right]}{\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow, di}) - \bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow, id})} + \Delta \bar{\theta}_{w, id}, \quad (65)$$

где $\bar{\theta}_w^i(h_{ow})$, $\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow, id})$, $\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow, di})$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{\theta}_w^i = \left[1 + \left(\alpha_{ow}^i h \right)^{i_{\epsilon_{ow}}} \right]^{-i_{m_{ow}}},$$

где $h = \{h_{ow}, \Delta h_{ow, di}, \Delta h_{ow, id}\}$ – капиллярный напор соответственно в расчетной точке и в поворотных точках di и id ; $\Delta \bar{\theta}_{w, di}$, $\Delta \bar{\theta}_{w, id}$ берутся из расчета соответствующих предыдущих поворотных точек.

2. Рассчитываются:

$\bar{\theta}_{a, tw}$ – по формулам (16)–(20);

$\bar{\theta}_{o, tt} = \bar{\theta}_{o, tw}$ – по выражениям (23), (24);

$$3. \quad \bar{\theta}_w^i = \bar{\theta}_w^i - \bar{\theta}_{a, tw} - \bar{\theta}_{o, tw}. \quad (66)$$

$$4. \quad \theta_w^i = \bar{\theta}_w^i (\theta_s - \theta_{wr}^{aow} - \theta_{ot}^m) + \theta_{wr}^{aow}. \quad (67)$$

Расчет $\bar{\theta}_\ell^i$ по h_{ao} и θ_o^i

$$1. \quad \bar{\theta}_\ell^i(h_{ao}) = \frac{\left[\bar{\theta}_\ell^i(h_{ao}) - \bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao, id}) \right] \left[\Delta \bar{\theta}_{\ell, di} - \Delta \bar{\theta}_{\ell, id} \right]}{\bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao, di}) - \bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao, id})} + \Delta \bar{\theta}_{\ell, id}, \quad (68)$$

где $\bar{\theta}_\ell^i(h_{ao})$, $\bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao, di})$, $\bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao, id})$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{\theta}_\ell^i = \left[1 + \left(\alpha_{ao}^i h \right)^{i_{\epsilon_{ao}}} \right]^{-i_{m_{ao}}}, \quad (69)$$

где $h = \{h_{ao}, \Delta h_{ao, di}, \Delta h_{ao, id}\}$ – капиллярный напор h_{ao} соответственно в расчетной точке и в поворотных точках di и id ; $\Delta \bar{\theta}_{\ell, di}$, $\Delta \bar{\theta}_{\ell, id}$ берутся из расчета соответствующих предыдущих поворотных точек.

2. Рассчитываются: $\bar{\theta}_{at}$ – по формуле (28); $\bar{\theta}_{o, tw}$ – по уравнениям (23), (24); $\bar{\theta}_{a, tw}^o$ и $\bar{\theta}_{a, to}^o$ – по зависимостям (40)–(49).

3. $\bar{\theta}_\ell^i, \theta_\ell^i, \theta_0^i$ находятся по формулам (53)–(56), заменяя $\bar{\theta}_\ell^d, \theta_\ell^d, \theta_0^d$.

Расчет h_{ow} по θ_w

$$1. \quad \bar{\theta}_w^i(h_{ow}) = \frac{\left[\bar{\theta}_w^i(h_{ow}) - \Delta \bar{\theta}_{w,id} \right] \left[\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,di}) - \bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id}) \right]}{\Delta \bar{\theta}_{w,di} - \Delta \bar{\theta}_{w,id}} + \bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id}), \quad (70)$$

где $\Delta \bar{\theta}_{w,id}, \Delta \bar{\theta}_{w,di}$ берутся из расчета предыдущих поворотных точек; $\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,id})$ и $\bar{\theta}_w^i(\Delta h_{ow,di})$ определяются по формуле:

$$\bar{\theta}_w^i = \left[1 + ({}^i\alpha_{ow} h)^{i\varepsilon_{ow}} \right]^{i m_{ow}}, \quad (71)$$

где $h = \{ \Delta h_{ow,id}, \Delta h_{ow,di} \}$; $\bar{\theta}_w^i(h_{ow})$ рассчитывается решением системы уравнений (59), в которой занимает место $\bar{\theta}_w^d(h_{ow})$.

$$2. \quad h_{ow} = \frac{1}{i\alpha_{ow}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_w^i(h_{ow})} \right)^{\frac{1}{i m_{ow}}} - 1 \right]^{i\varepsilon_{ow}}. \quad (72)$$

Расчет h_{ao} по θ_ℓ

$$1. \quad \bar{\theta}_\ell^i(h_{ao}) = \frac{\left[\bar{\theta}_\ell^i(h_{ao}) - \Delta \bar{\theta}_{\ell,id} \right] \left[\bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao,di}) - \bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao,id}) \right]}{\Delta \bar{\theta}_{\ell,di} - \Delta \bar{\theta}_{\ell,id}} + \bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao,id}), \quad (73)$$

где $\bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao,id})$ и $\bar{\theta}_\ell^i(\Delta h_{ao,di})$ находятся по формуле:

$$\bar{\theta}_\ell^i = \left[1 + ({}^i\alpha_{ao} h)^{i\varepsilon_{ao}} \right]^{i m_{ao}}, \quad (74)$$

где $h = \{ \Delta h_{ao,id}, \Delta h_{ao,di} \}$; $\Delta \bar{\theta}_{\ell,di}, \Delta \bar{\theta}_{\ell,id}$ берутся из расчета предыдущих поворотных точек; $\bar{\theta}_\ell^i(h_{ao})$ рассчитывается решением системы уравнений (63), в которой занимает место $\bar{\theta}_\ell^d(h_{ao})$.

$$2. \quad h_{ao} = \frac{1}{i\alpha_{ao}} \left[\left(\frac{1}{\bar{\theta}_\ell^i(h_{ao})} \right)^{\frac{1}{i m_{ao}}} - 1 \right]^{i\varepsilon_{ao}}. \quad (75)$$

Расчет напоров h_o и h_w выполняется по формуле (37).

Расчет проницаемости воды (k_w)

1. Расчет относительной проницаемости воды ($k_{r,w}$)

Если $\bar{\theta}_\ell^{\min} < \bar{\theta}_w^{\Delta aw}$ и $\bar{\theta}_w \geq \bar{\theta}_\ell^{\Delta \min}$, то

$$k_{r,w} = \bar{\theta}_w^{1/2} \left[1 - \left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m \left(1 - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \right) - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} \times \right. \\ \left. \times \left(1 - \bar{\theta}_w^{\min 1/m} \right)^m - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \left(1 - \bar{\theta}_\ell^{\min 1/m} \right)^m \right]^2. \quad (76)$$

Если $\bar{\theta}_\ell^{\min} \geq \bar{\theta}_w^{\Delta aw}$ и $\bar{\theta}_w \geq \bar{\theta}_w^{\Delta aw}$, то

$$k_{r,w} = \bar{\theta}_w^{1/2} \left[1 - \left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m \left(1 - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \right) + \left(1 - \Pi^{1/m} \right)^m \left(\frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\Delta aw}} - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\Delta aw}} \left(1 - \bar{\theta}_w^{\Delta aw 1/m} \right)^m - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} \left(1 - \bar{\theta}_w^{\min 1/m} \right)^m \right]^2, \quad (77)$$

где $\Pi > \bar{\theta}_w^{\Delta aw}$.

Если $\bar{\theta}_w < \bar{\theta}_\ell^{\min}$ и $\bar{\theta}_w < \bar{\theta}_w^{\Delta aw}$, то

$$k_{r,w} = \bar{\theta}_w^{1/2} \left[1 - \left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m \left(1 - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} \right) - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\min}} \left(1 - \bar{\theta}_w^{\min 1/m} \right)^m \right]^2. \quad (78)$$

$$2. \quad k_w = k_{r,w} k_{s,w}. \quad (79)$$

Расчет проницаемости ЛНП (k_o)

1. Расчет относительной проницаемости ЛНП ($k_{r,o}$)

Если $\bar{\theta}_w \geq \bar{\theta}_\ell^{\min}$, то

$$k_{r,o} = \bar{\theta}_{\alpha,f}^{1/2} \left[\left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m \left(1 - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \right) - \left(1 - \bar{\theta}_\ell^{\min 1/m} \right)^m \left(\frac{1 - i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \right) \right]^2, \quad (80)$$

где $\bar{\theta}_{\alpha,f} = \bar{\theta}_{\ell,f} - \bar{\theta}_w$, а $\bar{\theta}_{\ell,f} = \bar{\theta}_\ell - \bar{\theta}_{at}$.

Если $\bar{\theta}_\ell^{\min} \geq \bar{\theta}_w^{\Delta aw}$ и $\bar{\theta}_w < \bar{\theta}_\ell^{\min}$, то

$$k_{r,o} = \bar{\theta}_{\alpha,f}^{1/2} \left[\left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m - \left(1 - \bar{\theta}_\ell^{\min 1/m} \right)^m \left(1 - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} \right) - \left(1 - \psi^{1/m} \right)^m \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\Delta aw}} - \right. \\ \left. - \left(1 - \bar{\theta}_\ell^{\min 1/m} \right)^m \left(\frac{i\bar{\theta}_{\alpha,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}} - \frac{i\bar{\theta}_{\alpha,tw}}{1 - \bar{\theta}_w^{\Delta aw}} \right) \right]^2,$$

где $\psi > \bar{\theta}_w$.

Если $\bar{\theta}_\ell^{\min} < \Delta \bar{\theta}_w^{aw}$, то

$$k_{r,o} = \bar{\theta}_{\alpha,f}^{1/2} \left[\left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m}\right)^m - \left(1 - \bar{\theta}_\ell^{1/m}\right)^m \left(1 - \frac{i \bar{\theta}_{a,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}}\right) - \left(1 - \Omega^{1/m}\right)^m \left(\frac{i \bar{\theta}_{a,to}}{1 - \bar{\theta}_\ell^{\min}}\right) \right]^2, \quad (82)$$

где $\Omega > \bar{\theta}_w$ или $\bar{\theta}_\ell^{\min}$.

$$2. \quad k_o = k_{r,o} k_{s,o}. \quad (83)$$

Входные данные

1. Ряды h_{ow}, h_{ao} или θ_w и $\theta_o, \theta_s, \theta_{wr}^{aow}, \theta_{lr}^{aow}, \theta_{or}^{aow}, \theta_{w,aw}^m, \theta_{o,ao}^m, \theta_{w,ow}^m, \Delta \theta_w^{aw}, \alpha_{aw}^d, \alpha_{ao}^d, \alpha_{ow}^d, \varepsilon_{aw}^d, \varepsilon_{ao}^d, \varepsilon_{ow}^d; \alpha_{aw}^i, \alpha_{ao}^i, \alpha_{ow}^i; \varepsilon_{aw}^i, \varepsilon_{ao}^i, \varepsilon_{ow}^i; k_{s,w}, k_{s,o}$ (или v_w и v_o), где v_w и v_o – кинематическая вязкость воды и ЛНП.

$$\Delta \bar{\theta}_w^{aw} = \frac{\Delta \theta_w^{aw} - \theta_{wr}^{aw}}{\theta_s - \theta_{wr}^{aw}} - \text{задается и/или берется из расчета предшествующей системы «а – w»}.$$

$$k_{s,o} = \frac{k_{s,w} v_w}{v_o}.$$

2. Расчет трехфлюидной системы при смачиваемости: вода → ЛНП → вода → воздух

Смачиваемость «вода → ЛНП → вода → воздух» (рис. 2) формируется при опускании УГВ после полного насыщения и защемления ЛНП, который находился в капиллярном состоянии. Возможность такого защемления показана в статье [Парамонова и др., 2016], а формирование смачиваемости «вода – ЛНП – вода – воздух» при последующем опускании УГВ исследовано с помощью физического моделирования на колонне с песком, что будет опубликовано в последующих статьях, подтверждающих достоверность теоретической базы расчета флюидных систем в загрязненной ЛНП геологической среде в процессе колебания УГВ.

Как видно на рис. 2, при смачиваемости «вода – ЛНП – вода – воздух» содержание воды вместе с удерживаемым в ней ЛНП, которое называем кажущимся $\bar{\theta}_w$, определяется кривизной границы раздела «воздух – вода» и формирующейся при этом величиной капиллярного напора h_{aw} . Величину содержания $\bar{\theta}_w$ можно рассчитать, используя теорию, изложенную в работе

[Огняник, Парамонова, 2016а], в зависимости от происходящей ветви дренирования (в большинстве случаев это будет произвольная ветвь дренирования).

Содержание воды (θ_w) определяется границей раздела «о – w» и капиллярным напором h_{ow} и может быть рассчитано с использованием теории, изложенной в [Огняник, Парамонова, 2016б]. Тогда содержание ЛНП составляет:

$$\theta_o = \bar{\theta}_w - \theta_w.$$

Выводы

1. В результате формирования и трансформации слоя с мобильным ЛНП в процессе колебания УГВ образуется трехфлюидная система со смачиваемостью: $w \rightarrow o \rightarrow a$ и $w \rightarrow o \rightarrow w \rightarrow a$.

2. Для трехфлюидной системы со смачиваемостью: $w \rightarrow o \rightarrow a$ разработана теоретическая база расчета основных и произвольных путей дренирования и впитывания на основе основополагающих зависимостей многофазного потока R.J. Lenhard, J.C Parker [Lenhard, Parker, 1987; Lenhard, 1992]. В связи с тем, что эти зависимости учитывают только остаточную насыщенность воды θ_{wt} нами при расчете дренирования трехфлюидной системы также использованы исследованные

дования [Парамонова и др., 2016] остаточной насыщенности воды (θ_{wr}^{aow}) и жидкости ($\theta_{tr}^{aow} = \theta_{wr}^{aow} + \theta_{or}^{aow}$).

3. Для трехфлюидной системы со смачиваемостью: $w \rightarrow o \rightarrow w \rightarrow a$ предложена схема расчета на основе теории расчета двухфлюидных систем «а – w» и «о – w» кажущегося содержания воды $\bar{\theta}_w$ и воды, контактирующей с ЛНП (θ_w). По их разности определяется содержание ЛНП (θ_w).

Список литературы / References

1. Огняник Н. К. Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод. Ст. 1. Теоретическая база расчета двухфлюидной системы «воздух – смачивающий флюид» в пористой среде / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова // Геол. журн. – 2016а. – № 2 (355). – С. 90–98.

Ognianik N.S., Paramonova N.K., 2016a. Theoretical foundation for calculation of fluid systems in the subsurface contaminated with light petroleum products during groundwater fluctuation. Paper 1. Theoretical foundation for calculation “air – wetting fluid” two-phase systems in porous media. *Geologichnyy zhurnal*, № 2 (355), p. 90–98 (in Russian).

2. Огняник Н. К. Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод. Ст. 2. Теоретическая база расчета двухфлюидной системы «легкие нефтепродукты – вода» в пористой среде / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова // Геол. журн. – 2016б. – № 3 (356). – С. 89–103.

Ognianik N.S., Paramonova N.K., 2016b. 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. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (356), p. 89–103 (in Russian).

3. Парамонова Н.К. Влияние колебания уровня грунтовых вод на формирование остаточных и заземленных легких нефтепродуктов / Н.К. Парамонова, Г.И. Голуб, И.Н. Запольский, О.И. Логвиненко, Ю.А. Негода // Геол. журн. – 2016. – № 1 (354). – С. 112–124.

Paramonova N.K., Golub G.I., Zapolski I.N., Logvinenko O.I., Negoda Y.A., 2016. Influence of water table fluctuations on formation of retained and trapped light petroleum products. *Geologichnyy zhurnal*, № 1 (354), p. 112–124 (in Russian).

4. В последующих статьях для подтверждения разработанной теории будет изложен порядок расчета и анализа (алгоритм) флюидных систем в загрязненной ЛНП геологической среде в процессе колебания УГВ, а также лабораторные исследования влияния колебания УГВ на состояние и содержание ЛНП в геологической среде.

4. Aziz K. Petroleum Reservoir Simulation / K. Aziz, Settari A. – London: Applied Science Publ., 1979. – 476 p.

Aziz K., Settari A., 1979. Petroleum Reservoir Simulation. London: Applied Science Publishers, 476 p. (in English).

5. Hoag G.E. Gasoline residual saturation in unsaturated uniform aquifer materials / G.E. Hoag, M.C. Marley // J. Environ. Eng. – 1986. – № 3. – P. 586–604.

Hoag G.E., Marley M.C., 1986. Gasoline residual saturation in unsaturated uniform aquifer materials. *J. Environ. Eng.*, № 3, p. 586–604 (in English).

6. Jarsjö J. Retention and volatilisation of kerosene laboratory experiments on glacial and post-glacial soils / J. Jarsjö, Q. Destouni, B. Yaron // J. Contam. Hydrology. – 1990. – № 17. – P. 167–185.

Jarsjö J., Destouni Q., Yaron B., 1990. Retention and volatilisation of kerosene laboratory experiments on glacial and post-glacial soils. *J. Contam. Hydrology*, № 17, p. 167–185 (in English).

7. Lenhard R.J. A model for hysteretic constitutive relations governing multiphase flow / R.J. Lenhard, J.C. Parker // Water Resour. Res. – 1987. – Vol. 23 (12). – P. 2187–2206.

Lenhard R.J., Parker J.C., 1987. A model for hysteretic constitutive relations governing multiphase flow. *Water Resour. Res.*, vol. 23 (12), p. 2187–2206 (in English).

8. Lenhard R.J. Measurement and modelling of three-phase saturation-pressure hysteresis / R.J. Lenhard // J. Contam. Hydrology. – 1992. – Vol. 9. – P. 243–269.

Lenhard R.J., 1992. Measurement and modelling of three-phase saturation-pressure hysteresis. *J. Contam. Hydrology*, vol. 9, p. 243–269 (in English).

9. Leverett M.C. Dimensional-model studies of oil field behavior / M.C. Leverett, W.B. Lewis, M.E. True // Trans. AIME. – 1942. – Vol. 146. – P. 175–193.

Leverett M.C., Lewis W.B., True M.E., 1942. Dimensional-model studies of oil field behavior. *Trans. AIME*, vol. 146, p. 175–193 (in English).

10. Peery J.H. Three-phase reservoir simulation / J.H. Peery, E.H. Herron // *J. Petr. Technol.* – 1969. – Vol. 21. – P. 211–220.

Peery J.H., Herron E.H., 1969. Three-phase reservoir simulation. *J. Petr. Technol.*, vol. 21, p. 211–220 (in English).

11. Shulter N.D. Numerical three-phase simulation of the linear steamflood process / N.D. Shulter // *Pet. Eng.* – 1969. – Vol. 9. – P. 232–246.

Shulter N.D., 1969. Numerical three-phase simulation of the linear steamflood process. *Pet. Eng.*, vol. 9, p. 232–246 (in English).

12. Steffy D.A. Influence of antecedent moisture content on residual LNAPL saturation / D.A. Steffy, D.A. Barry, C.D. Johnston // *J. Soil Contam.* – 1997. – Vol. 6 (2). – P. 113–147.

Steffy D.A., Barry D.A., Johnston C.D., 1997. Influence of antecedent moisture content on residual LNAPL saturation. *J. Soil Contam.*, vol. 6 (2), p. 113–147 (in English).

13. Van Geel P.J. A proposed model to include a residual NAPL saturation in a hysteretic capillary pressure-saturation relationship / P.J. Van Geel,

S.D. Roy // *J. Contam. Hydrology.* – 2002. – № 58. – P. 79–110.

Van Geel P.J., Roy S.D., 2002. A proposed model to include a residual NAPL saturation in a hysteretic capillary pressure-saturation relationship. *J. Contam. Hydrology*, № 58, p. 79–110 (in English).

14. Van Genuchten M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils / Van Genuchten M.T. // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892–898.

Van Genuchten M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, vol. 44 (5), p. 892–898 (in English).

15. Wipfler E.L. A set of constitutive relationships accounting for residual NAPL in the unsaturated zone / E.L. Wipfler, van der Zee S.E. // *J. Contam. Hydrology.* – 1990. – № 50. – P. 53–77.

Wipfler E.L., van der Zee S.E., 1990. A set of constitutive relationships accounting for residual NAPL in the unsaturated zone. *J. Contam. Hydrology*, № 50, p. 53–77 (in English).

Статья поступила
23.02.2016

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА РАСЧЕТА ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЛЕГКИМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В ПРОЦЕССЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Статья 4. Порядок расчета и анализа флюидных систем
в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде
в процессе колебания уровня грунтовых вод

Н.К. Парамонова¹, И.С. Гамшеева², И.Н. Запольский³

(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук Н.С. Огняником)

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: ign@gwp.org.ua
Кандидат геологических наук, старший научный сотрудник.*

² *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: ari_gm@mail.ru
Главный специалист.*

³ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: igorzapol@gmail.com
Младший научный сотрудник.*

Изложен алгоритм вычислительной программы CFS (Calculation of Fluid Systems), предназначенной для расчета уровней, состояния, распределения содержания и объема воды и жидких легких нефтепродуктов в линзе, сформировавшейся на уровне грунтовых вод в условиях его колебания. Состоит из блоков: ввод данных, преобразование параметров, расчет значений и формирование массивов исходных переменных по датам, идентификация и расчет флюидной системы, анализ и уточнение расчетов, выделение зон с различным состоянием жидких легких нефтепродуктов, формирование массива значений содержания воды и жидких легких нефтепродуктов, обработка выходных данных и расчет изменения объема воды и легких нефтепродуктов по вертикали в зоне колебания уровня грунтовых вод, вывод таблиц и результатов на выбранные даты в файл.

Ключевые слова: алгоритм вычислительной программы, массивы исходных параметров и переменных, идентификация и расчет флюидных систем, содержание и объем воды и легких нефтепродуктов, колебание уровня грунтовых вод.

THE ORETICAL FOUNDATION FOR CALCULATION OF FLUID SYSTEMS IN THE SUBSURFACE CONTAMINATED WITH LIGHT PETROLEUM PRODUCTS DURING GROUNDWATER FLUCTUATION

Paper 4. Calculation and analysis of fluid systems
in the subsurface contaminated with light petroleum products
during groundwater table fluctuations

N.K. Paramonova¹, I.S. Gamsheyeva², I.N. Zapolskiy³

(Recommended by doctor of geological-mineralogical sciences N.S. Ognianik)

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Candidate of geological sciences, senior scientific researcher.*

² *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: ari_gm@mail.ru
Chief specialist.*

³ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: igorzapol@gmail.com
Junior scientific researcher.*

© Н.К. Парамонова, И.С. Гамшеева, И.Н. Запольский, 2016

The article describes an algorithm for CFS (Calculation of Fluid Systems) computer program designed to calculate levels, state, distribution of content and volume of water and liquid light petroleum products in a lens formed on a water table during its fluctuations. The program consists of the blocks: data input, parameter transformation, value calculation and formation of input variable arrays on dates, identification and calculation of fluid system, analysis and correction of calculations, selection of zones with different states of liquid light petroleum products, formation of the array of water content and light petroleum products values, treatment of output data and calculation of changes in water and light petroleum products volumes vertically in a water table fluctuation zone, output of tables and results for chosen dates in a file.

Key words: algorithm of computer program, arrays of initial parameters and variables, identification and calculation of fluid systems, content and volume of water and light petroleum products, fluctuations of water table.

ТЕОРЕТИЧНА БАЗА РОЗРАХУНКУ ФЛЮЇДНИХ СИСТЕМ У ЗАБРУДНЕНОМУ ЛЕГКИМИ НАФТОПРОДУКТАМИ ГЕОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ У ПРОЦЕСІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД

**Стаття 4. Порядок розрахунку та аналізу флюїдних систем
у забрудненому легкими нафтопродуктами геологічному середовищі
у процесі коливання рівня ґрунтових вод**

Н.К. Парамонова¹, І.С. Гамшеєва², І.М. Запольський³

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук М.С. Огняником)

¹ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник.*

² *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: ari_gm@mail.ru
Головний фахівець.*

³ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: igorzapol@gmail.com
Молодший науковий співробітник.*

Викладено алгоритм обчислювальної програми CFS (Calculation of Fluid Systems), призначеної для розрахунку рівнів, стану, розподілу вмісту та об'єму води й рідких легких нафтопродуктів у лінзі, що сформувалася на рівні ґрунтових вод в умовах його коливання. Складається з блоків: уведення даних, перетворення параметрів, розрахунок значень і формування масивів вихідних змінних за датами, ідентифікація і розрахунок флюїдної системи, аналіз та уточнення розрахунків, виокремлення зон с різним станом рідких легких нафтопродуктів, формування масиву значень вмісту води й легких нафтопродуктів, обробка вихідних даних і розрахунок зміни об'єму води й легких нафтопродуктів по вертикалі у зоні коливання рівня ґрунтових вод, виведення таблиць і результатів на вибрані дати у файл.

Ключові слова: алгоритм обчислювальної програми, масиви вихідних параметрів та змінних, ідентифікація та розрахунок флюїдних систем, вміст та об'єм води і легких нафтопродуктів, коливання рівня ґрунтових вод.

Введение

Программа CFS (Calculation of Fluid Systems) предназначена для расчета изменения состояния, распределения содержания и объема воды и жидких легких нефтепродуктов (ЛНП) в линзе, сформировавшейся на уровне грунтовых вод (УГВ) в условиях его колебания по данным наблюдения в скважине.

Теоретической базой вычислительной программы служили теоретические разработки, изложенные в работах [Огняник и др., 2006; Парамонова и др., 2016; Огняник, Парамонова, 2016а–в]. Порядок идентификации, расчета и анализа возникающих при колебании УГВ флюидных систем (алгоритм вычислительной программы) показан на блок-схеме (рис. 1). Ниже приведено описание каждого блока алгоритма программы.

Блок 1. Ввод данных

А. Ввод дат. Вводятся даты, на которые зафиксированы глубины уровней в скважине (режимные наблюдения).

Б. Ввод глубин (z). Вводятся глубины, на которых желательно выполнить расчеты. Включается диапазон колебания УГВ плюс мощность слоя с мобильным ЛНП с выходом в насыщенную грунтовой водой зону и в незагрязненную нефтепродуктами зону аэрации (ЗА).

В. Ввод глубин уровней в скважине. По датам вводятся:

H_{ao}^w – глубина раздела «воздух – ЛНП»;

H_{ow}^w – глубина раздела «ЛНП – вода», где a – воздух, o – ЛНП, w – вода; H – глубина залегания УГВ при отсутствии слоя с мобильным ЛНП (H_{ao}^w и H_{ow}^w отсутствуют).

Г. Ввод параметров:

ρ_w – плотность воды, г/см³ или т/м³;

ρ_o – плотность ЛНП, г/см³ или т/м³;

σ_{aw} – поверхностное натяжение границы раздела «воздух – вода», дин/см;

σ_{ao} – поверхностное натяжение границы раздела «воздух – ЛНП», дин/см;

σ_{ow} – поверхностное натяжение границы раздела «ЛНП – вода», дин/см;

α_{aw}^d – параметр уравнения VG процесса дренирования воды в системе «а – w», 1/см или 1/м;

α_{ow}^d – параметр уравнения VG процесса дренирования воды в системе «о – w», 1/см или 1/м (если неизвестен, то рассчитывается по α_{aw}^d);

α_{ao}^d – параметр уравнения VG процесса дренирования ЛНП в системе «а – о», 1/см или 1/м (если неизвестен, то рассчитывается по α_{aw}^d);

α_{aw}^i – параметр уравнения VG процесса впитывания воды в системе «а – w», 1/см или 1/м;

α_{ow}^i – параметр уравнения VG процесса впитывания воды в системе «о – w», 1/см или 1/м (если неизвестен, то рассчитывается по α_{aw}^i);

α_{ao}^i – параметр уравнения VG процесса впитывания ЛНП в системе «а – о», 1/см или 1/м (если неизвестен, то рассчитывается по α_{aw}^i);

$\alpha_{ow}^{d'}$ – параметр уравнения VG первичной ветки дренирования воды в системе «о – w», 1/см или 1/м;

ϵ_{aw}^d – параметр уравнения VG процесса дренирования воды в системе «а – w», б. р.;

ϵ_{ow}^d – параметр уравнения VG процесса дренирования воды в системе «о – w», б. р.;

ϵ_{ao}^d – параметр уравнения VG процесса дренирования ЛНП в системе «а – о», б. р.;

$\epsilon_{ow}^{d'}$ – параметр уравнения VG первичной ветки дренирования воды в системе «о – w», б. р.;

ϵ_{aw}^i – параметр уравнения VG процесса впитывания воды в системе «а – w», б. р.;

ϵ_{ow}^i – параметр уравнения VG процесса впитывания воды в системе «о – w», б. р.;

ϵ_{ao}^i – параметр уравнения VG процесса впитывания ЛНП в системе «а – о», б. р.;

θ_s – полная насыщенность флюидами, д. ед.;

θ_{wr}^{aw} – наименьшее содержание непрерывной фазы воды в системе «а – w», д. ед.;

θ_{wr}^{aow} – наименьшее содержание остаточной воды при дренировании системы «а – о – w», д. ед.;

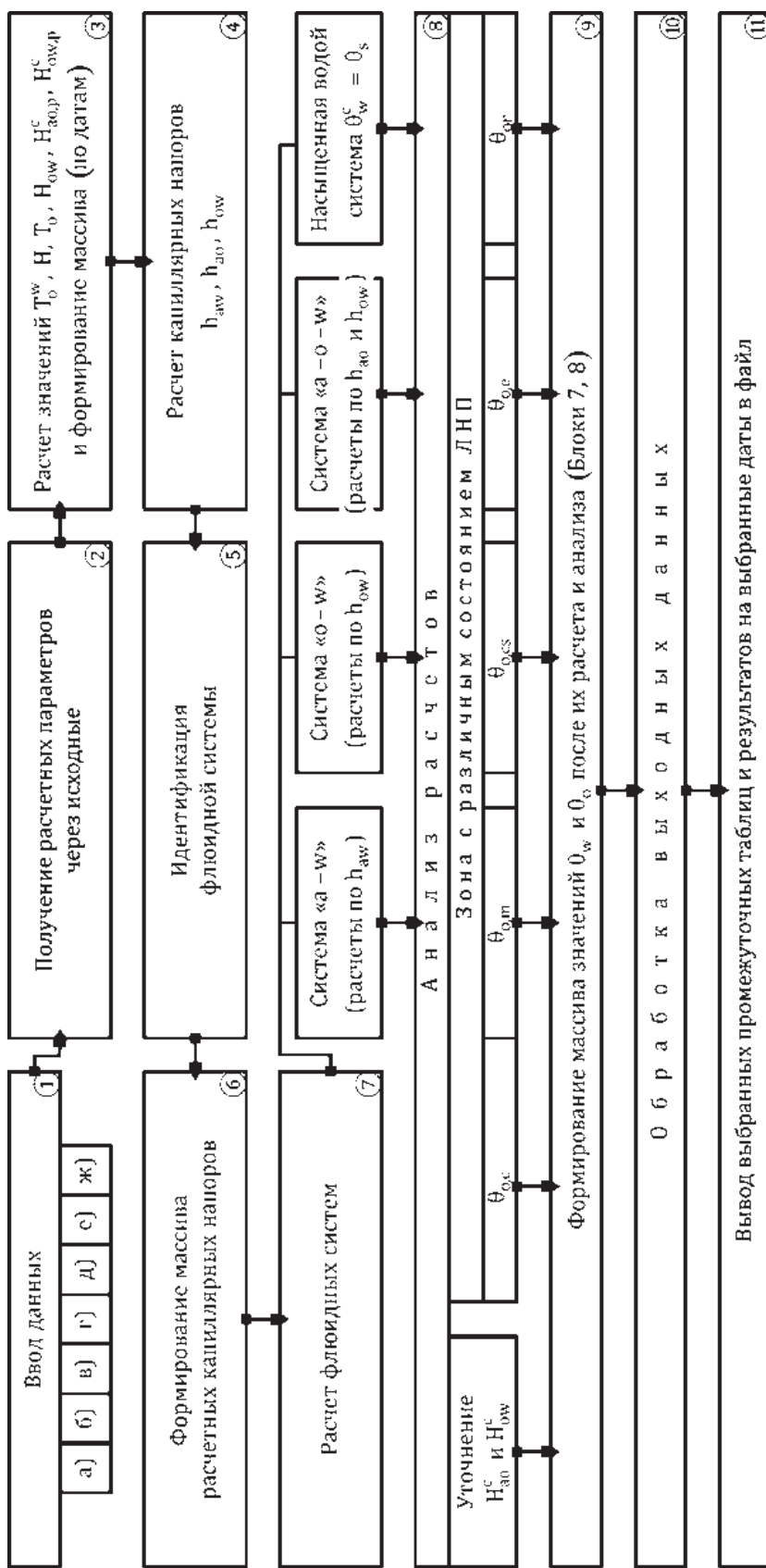


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы CFS

а) ввод дат; б) ввод глубин (z); в) ввод массива известных остаточного содержания ЛПП в ЗА на периоды времени; г) ввод массива изменяющихся во времени остаточных ЛПП и воды в процессе стекания в системе «а – о – w» при максимальной амплитуде колебания УГВ; ж) ввод дат начала процессов трансформации мобильного ЛПП

Fig. 1. The block diagram of CFS program algorithm

a) date input; б) depth input (z); в) input of level depths of known residual LPP content in the unsaturated zone for time periods; г) input of the massive of changing in time residual LPP and water during draining in a «a – o – w» system at the maximum amplitude of water table fluctuations; г) data input of starting of mobile LPP transformation processes

θ_{or}^{aow} – наименьшее содержание недренируемого остаточного ЛНП при дренировании системы «а – о – w», д. ед.;

$\theta_{1r}^{aow} = \theta_{wr}^{aow} + \theta_{or}^{aow}$ – наименьшее содержание остаточной жидкости при дренировании системы «а – о – w», д. ед.;

θ_{or}^{ao} – наименьшее содержание непрерывной фазы ЛНП в системе «а – о», д. ед.;

θ_{wr}^{ow} – наименьшее содержание непрерывной фазы воды в системе «о – w», д. ед.;

$i\theta_{w,aw}^m$ – максимальное содержание воды в процессе основной ветки впитывания в системе «а – w» (ОВВ^{aw}), д. ед.;

$i\theta_{w,ow}^m$ – максимальное содержание воды в процессе основной ветки впитывания в системе «о – w» (ОВВ^{ow}), д. ед.;

$i\theta_{o,ao}^m$ – максимальное содержание ЛНП в процессе основной ветки впитывания в системе «а – о» (ОВВ^{ao}), д. ед.;

$\theta_{w,i}^d - h_{aw,i}$, $\theta_{w,i}^d - h_{ow,i}$ – значения θ_w при соответствующих значениях $h_{aw,i}$ и $h_{ow,i}$ в процессе основной ветки дренирования ОВД;

$\theta_{w,i}^i - h_{aw,i}$, $\theta_{w,i}^i - h_{ow,i}$ – то же в процессе основной ветки впитывания ОВВ;

h^m – минимальный отрицательный капиллярный напор (h_{ow}) в системе «о – w»;

T – время стабилизации θ_{wr}^{aow} и θ_{or}^{aow} при максимальном понижении УГВ.

Д. Ввод массива известного остаточного содержания ЛНП ($\theta_{o,p}$) в ЗА по глубинам z_i на периоды времени с ... до ...: $z_i - \theta_{o,p_i}$.

Е. Ввод массива изменяющихся во времени ($\Delta t_i = t_n - t_i$, где t_n – начальное время стекания) остаточных ЛНП и воды в процессе эксперимента стекания в системе «а – о – w» при максимальной амплитуде колебания УГВ:

$$\Delta t_1 \rightarrow \theta_{wr,t_1}^{aow} \div \theta_{or,t_1}^{aow}; \Delta t_2 \rightarrow \theta_{wr,t_2}^{aow} \div \theta_{or,t_2}^{aow} \dots \rightarrow \\ \rightarrow \Delta t_k = T \rightarrow \theta_{wr,const}^{aow} \div \theta_{or,const}^{aow}$$

Ж. Ввод дат начала процессов трансформации мобильного ЛНП: формирования слоя с мобильным ЛНП; первого подъема УГВ; последующего опускания УГВ; повторного подъема УГВ; первого опускания УГВ после формирования слоя с мобильным ЛНП.

Блок 2. Получение расчетных параметров через исходные

$$\tilde{\theta}_{wr}^{aw} = \frac{\theta_{wr}^{aw}}{\theta_s}; \tilde{\theta}_{wr}^{ow} = \frac{\theta_{wr}^{ow}}{\theta_s}; \tilde{\theta}_{or}^{ao} = \frac{\theta_{or}^{ao}}{\theta_s};$$

$$i\tilde{\theta}_{w,aw}^m = \frac{i\theta_{w,aw}^m - \theta_{wr}^{aw}}{\theta_s - \theta_{wr}^{aw}};$$

$$i\tilde{\theta}_{w,ow}^m = \frac{i\theta_{w,ow}^m - \theta_{wr}^{ow}}{\theta_s - \theta_{wr}^{ow} - \theta_{ot}^m}; i\tilde{\theta}_{o,ao}^m = \frac{i\theta_{o,ao}^m - \theta_{or}^{ao}}{\theta_s - \theta_{or}^{ao}};$$

$$R_{aw} = \frac{1}{1 - i\tilde{\theta}_{at,aw}^m} - 1; R_{ow} = \frac{1}{1 - i\tilde{\theta}_{ot,ow}^m} - 1;$$

$$R_{ao} = \frac{1}{1 - i\tilde{\theta}_{at,ao}^m} - 1;$$

$$\theta_{at,aw}^m = \theta_s - i\theta_{w,aw}^m; \bar{\theta}_{at,ao}^m = 1 - i\bar{\theta}_{o,ao}^m;$$

$$\bar{\theta}_{ot,ow}^m = 1 - i\bar{\theta}_{w,ow}^m; \theta_{ot,ow}^m = \theta_s - i\theta_{w,ow}^m;$$

$$\bar{\theta}_{at,aw}^m = 1 - i\bar{\theta}_{aw}^m; \theta_{at,ao} = \theta_s - i\theta_{o,ao}^m;$$

$$\beta_{ao} = \frac{\sigma_{aw}}{\sigma_{ao}}; \beta_{ow} = \frac{\sigma_{aw}}{\sigma_{ow}}; d m_{aw} = 1 - \frac{1}{d \varepsilon_{aw}};$$

$$i m_{aw} = 1 - \frac{1}{i \varepsilon_{aw}}; d m_{ao} = 1 - \frac{1}{d \varepsilon_{ao}}; i m_{ao} = 1 - \frac{1}{i \varepsilon_{ao}};$$

$$d m_{ow} = 1 - \frac{1}{d \varepsilon_{ow}}; i m_{ow} = 1 - \frac{1}{i \varepsilon_{ow}};$$

$$d' m_{ow} = 1 - \frac{1}{d' \varepsilon_{ow}}; \rho_{r,o} = \frac{\rho_o}{\rho_w};$$

$$h_d^{aw} = d \alpha_{aw}^{-1} S_x^{1/\lambda} \left(S_x^{-\frac{1}{d} m_{aw}} \right)^{1-d m_{aw}};$$

$$S_x = 0,72 - 0,35 \times 2,7183^{-d \varepsilon_{aw}^4};$$

$$\lambda = \frac{d m_{aw} \left(1 - 0,5^{\frac{1}{d m_{aw}}} \right)}{1 - d m_{aw}};$$

$$h_d^{ao} = \frac{h_d^{aw} \times \sigma_{ao}}{\sigma_{aw}}; h_d^{ow} = \frac{h_d^{aw} \times \sigma_{ow}}{\sigma_{aw}}.$$

Блок 3. Расчеты значений T_o^w , H , T_o , H_{ow} , $H_{ao,p}^c$, $H_{ow,p}^c$ и формирование массива (по датам)

- мощность слоя ЛНП в скважине:

$$T_o^w = H_{ow}^w - H_{ao}^w;$$

- глубина залегания напора воды:

$$H = H_{ow}^w - \rho_{r,o} T_o^w;$$

- мощность слоя ЛНП в породе:

$$T_o = T_o^w - h_d^{ao} / (1 - \rho_{r,o});$$

$$T_o = 0 \text{ при } T_o^w \leq \frac{h_d^{ao}}{1 - \rho_{r,o}};$$

- глубина залегания уровня «ЛНП – вода» в породе: $H_{ow} = H_{ao}^w + T_o$;

- предварительная глубина залегания капиллярной каймы «воздух – ЛНП»:

$$H_{ao,p}^c = \frac{\beta_{ao} \rho_{r,o} H_{ao}^w - H}{\beta_{ao} \rho_{r,o} - 1};$$

- предварительная глубина залегания капиллярной каймы «ЛНП – вода»:

$$H_{ow,p}^c = H_{ow}^w - \frac{h_d^{ow}}{1 - \rho_{r,o}}.$$

Значения H_{ao}^w , H_{ow}^w вводятся в расчетные глубины z .

Блок 4. Расчет капиллярных напоров h_{aw} , h_{ao} , h_{ow}

$$h_{aw} = H - z; h_{ao} = \rho_{r,o} (H_{ao}^w - z);$$

$$h_{ow} = (1 - \rho_{r,o}) (H_{ow}^w - z).$$

Блок 5. Идентификация флюидной системы

Анализ проводится для каждого z по всем датам:

а) если $h_{aw} > h_{ao} > h_{ow} > 0$, то это система «а – w», и в Блок 6 вводятся только значения h_{aw} ; при опускании УГВ, если на предыдущем времени было полное насыщение водой с заземленным θ_o , то в Блок 6 вводятся значения h_{aw} и h_{ow} , а система представляет собой кажущуюся «а – w» и «о – w»;

б) если $h_{ao} \leq 0$ при $h_{ow} > h^m$, то это система «о – w», и в Блок 6 вводятся значения $h_{aw} = 0$ и h_{ow} ;

в) если $0 < h_{ao} < h_{ow}$, то это система «а – о – w», и в Блок 6 вписываются значения h_{ao} и h_{ow} ;

г) если $h_{aw} \leq 0$, $h_{ao} < 0$, $h_{ow} < h^m$, то принимается $h_{aw} = 0$ – система насыщена водой ($\theta_w^c = \theta_s$); в Блок 6 в строку «Процесс флюидной системы» вписывается «s».

Блок 6. Формирование массива расчетных капиллярных напоров

Для каждой глубины и даты записываются значения капиллярных напоров h_{aw} , h_{ao} , h_{ow} и определяется система «а – w», «а – о», «о – w» на основе анализа в Блоке 5. Для каждой системы устанавливается ветка дренирования или впитывания на основе идентификации, описанной в статьях [Огняник, Парамонова, 2016а–в]: для системы «а – w» – основная ветвь дренирования (ОВД^{aw}), основная ветвь впитывания (ОВВ^{aw}), промежуточная ветвь впитывания (ПрВВ^{aw}), произвольная ветвь дренирования (ПзВд^{aw}), произвольная ветвь впитывания (ПзВВ^{aw}); для системы «о – w» – основная ветвь дренирования (ОВД^{ow}), основная ветвь впитывания (ОВВ^{ow}), промежуточная ветвь впитывания (ПрВВ^{ow}), промежуточная ветвь дренирования (ПрВд^{ow}), первичная ветвь дренирования (Пвд^{ow}), произвольная ветвь дренирования (ПзВд^{ow}), произвольная ветвь впитывания (ПзВВ^{ow}); для системы «а – о – w» – основная ветвь дренирования (ОВд^{ao}_ℓ, ОВД^{ao}_w), основная ветвь впитывания (ОВВ^{ao}_ℓ, ОВВ^{ao}_w), произвольная ветвь дренирования (ПзВд^{ao}_ℓ, ПзВд^{ao}_w), произвольная ветвь впитывания (ПзВВ^{ao}_ℓ, ПзВВ^{ao}_w), для жидкости (ℓ) по h_{ao} , для воды (w) по h_{ow} .

Блок 7. Расчет флюидных систем

Расчет производится по капиллярным напорам соответствующей ветки насыщения с помощью расчетного блока программы **CFS**, составленного на основании формул, приведенных в статье [Огняник, Парамонова, 2016а–в].

а) h_{aw} – двухфлюидная «а – w» система: ветки насыщения – ОВД, ОВВ, ПрВВ, ПзВд, ПзВВ;

б) h_{ow} – двухфлюидная «о – w» система: ветки насыщения – ОВД, ОВВ, ПрВВ, ПрВд, Пвд, ПзВд, ПзВВ;

в) h_{ao}, h_{ow} – трехфлюидная «а – о – w» система: ветки насыщения – ОВД, ОВВ, ПзВД, ПзВВ для «ℓ» и «w»;

г) $h_{aw} \leq 0, h_{ao} < 0$ и $h_{ow} < h^m$ – насыщенная водой система, расчетное содержание воды $\theta_w^c = \theta_s$;

д) h_{aw}, h_{ow} – кажущаяся «а – w» система: отдельно рассчитываются ветки насыщения по h_{aw} и h_{ow} . По h_{aw} рассчитывается кажущееся содержание воды θ_w^a , граничащей с воздухом и включающей заземленный ЛНП. По h_{ow} рассчитывается количество воды, связанной с ЛНП (θ_w^{ow}). Тогда остаточное содержание ЛНП определяется как $\theta_{ог} = \theta_w^{aw} - \theta_w^{ow}$.

На основании расчетов определяется содержание ЛНП (θ_o) и содержание воды

(θ_w), которые анализируются в Блоке 8. Если по каким-либо веткам насыщения известны капиллярные напоры и содержание флюида(-ов), то определяются или корректируются параметры уравнения VG α и ε [Огняник, Парамонова, 2016а–в]).

Блок 8. Анализ расчетов

Анализ расчетов проводится для установления количества воды и ЛНП и состояния ЛНП в ГС с уточнением глубины залегания границ H_{ao}^c и H_{ow}^c – капиллярных зон «воздух – ЛНП» и «ЛНП – вода».

① Формирование слоя с мобильным ЛНП (появление в массивах Блока 3 значений T_o и H_{ow}). Схема анализа расчетов Блока 7 показана на рис. 2.

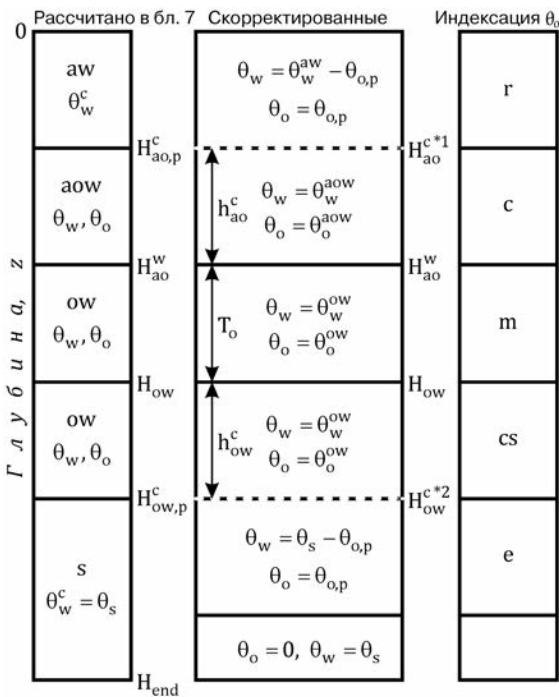


Рис. 2. Схема анализа расчетов Блока 7 для периода формирования слоя с мобильным ЛНП
Флюидные системы: aw – «воздух – вода»; ow – «ЛНП – вода»; aow – «воздух – ЛНП – вода». Глубина уровней: $H_{ao}^w = H_{ao}$ – «ЛНП – воздух» в скважине и в грунте; H_{ow}^w – «ЛНП – вода» в грунте; H_{ao}^c, H_{aw}^c – предварительно рассчитанные глубины границ «воздух – ЛНП» ненасыщенной капиллярной зоны и «ЛНП – вода» насыщенной капиллярной зоны; H_{ao}^c, H_{ow}^c – скорректированные глубины границ вышеуказанных капиллярных зон; θ_w, θ_o – содержание воды и ЛНП в грунте; θ_s – полное объемное содержание флюидов в грунте; $\theta_{o,p}$ – заданное экспе-

риментально определенное содержание остаточного ЛНП в грунте; T_o – мощность слоя с мобильным ЛНП; h_{ao}^c, h_{ow}^c – мощность ненасыщенной и насыщенной капиллярных зон.

Индексация θ_o : r – остаточный; c – капиллярный в ненасыщенной среде; m – мобильный; cs – капиллярный в насыщенной среде; e – заземленный.

*1 Корректировка H_{ao}^c – определяется глубина, при которой $h_{ao} = h_{ow}$.

*2 Корректировка H_{ow}^c – по расчетам блока 7 устанавливается глубина с минимальным содержанием θ_o (20–30% от $\theta_{ot,ow}^m$)

Fig. 2. The scheme of calculation analysis for Block 7 for the period of the formation of mobile LPP layer

Fluid systems: aw – «air – water»; ow – «LPP – water»; aow – «air – LPP – water». A level depth: $H_{ao}^w = H_{ao}$ – «LPP – air» in a well and in soil; H_{ow}^w – «LPP – water» in soil; H_{ao}^c, H_{aw}^c – preliminary calculated depths of interfaces «air – LPP» of the unsaturated capillary zone and «LPP – water» of the saturated capillary zone; H_{ao}^c, H_{ow}^c – corrected depths of interfaces of the indicated capillary zones; θ_w, θ_o – water and LPP contents in soil; θ_s – total volume fluid content in soil; $\theta_{o,p}$ – specified experimentally determined residual LPP content in soil; T_o – mobile LPP layer thickness; h_{ao}^c, h_{ow}^c – thicknesses of unsaturated and saturated capillary zones.

Indexation θ_o : r – residual; c – capillary in the unsaturated zone; m – mobile; cs – capillary in the saturated zone; e – trapped.

*1 Correction of H_{ao}^c – determination of a depth, at which $h_{ao} = h_{ow}$.

*2 Correction of H_{ow}^c – by the calculations of Block 7, determination of a depth with a minimum content of θ_o (20–30% of $\theta_{ot,ow}^m$)

H_{ao}^c приурочивается к первой от поверхности глубине z , где присутствует рассчитанное θ_o и где $h_{aw} = h_{ao}$; H_{ow}^c – к глубине z , где рассчитанное $\theta_o \leq \theta_{ot,ow}^m$ ($\theta_o = 20-30\%$ от $\theta_{ot,ow}^m$). Ниже H_{ow}^c среда насыщена водой: $\theta_o = 0$, $\theta_w = \theta_s$.

Если выше глубины H_{ao}^c , где рассчитывается «а – w» система и определяется θ_w^c (расчетное), с помощью лабораторных анализов установлено содержание ЛНП (θ_{op}), то $\theta_o = \theta_{op}$ и принимается как остаточное (r), а содержание воды устанавливается как $\theta_w = \theta_w^c - \theta_{op}$. Значения θ_w и θ_o вводятся в массив значений θ_w и θ_o Блока 9.

② *Первый подъем УГВ:* $H_{ao,t-1}^w > H_{ao,t}^w$ (t – время).

Мощность слоя (T_o) с мобильным (m) ЛНП уменьшается, слой занимает более высокое положение, чем при формировании. Устанавливается новое H_{ao}^c аналогично пункту ①. H_{ow}^c устанавливается на глубине, где по расчету $\theta_o^{ow} = \theta_{ot,ow}^m$. В зонах «а – w», «а – о – w», «о – w» значения θ_w и θ_o принимаются согласно рис. 2.

Если на глубине z среда насыщена водой (s) и на предыдущем времени ($t-1$) в этом z был капиллярный ЛНП (cs) с $\theta_o \geq \theta_{ot}^m$, то на расчетном времени (t) принимается $\theta_o = \theta_{ot,ow}^m$. Если $\theta_{o,t-1} < \theta_{ot,ow}^m$, то $\theta_o = \theta_{o,t-1}$. θ_o считается защемленным (e), а содержание воды на глубине z будет:

$$\theta_w = \theta_s - \theta_o.$$

Если на предыдущем времени ($t-1$) в насыщенной водой среде (s) $\theta_o = 0$, то и на времени t $\theta_o = 0$ и $\theta_w = \theta_s$.

При $T_o^w \leq \frac{h_d^{ao}}{1 - \rho_{r,o}}$ $T_o = 0$ – мобильный

ЛНП (m) отсутствует, но капиллярная зона h_{ao}^c формируется при $H_{ao,p}^c < H_{ao}^w$, а капиллярная зона h_{ow}^c – при $H_{ow,p}^c > H_{ao}^w$. Граница H_{ao}^c устанавливается аналогично пункту ①, граница H_{ow}^c – в z , где $\theta_o^{ow} \approx \theta_{ot,ow}^m$. Зоны «а – w», «а – о – w», «о – w» и «s» анализируются аналогично описанному в пункте ②.

При дальнейшем подъеме УГВ рассчитанное на предыдущее время содержание капиллярного ЛНП в ненасыщенной зоне (h_{ao}^c) между $H_{ao,t-1}^w$ и $H_{ao,t-1}^c$ и в насыщенной зоне (h_{ow}^c) между $H_{ow,t-1}^w$ и $H_{ow,t-1}^c$ становится защемленным (e) водой в системе «а – w», рассчитываемой по $\theta_w^c(h_{aw})$ в Блоке 7, и $\theta_o = \theta_{o,t-1}$.

Если $h_{aw} > 0$, то $\theta_w = \theta_{w,aw}^c - \theta_o$; если $h_{aw} \leq 0$, то $\theta_w = \theta_s - \theta_o$; если $\theta_o = 0$, то $\theta_w = \theta_s$.

③ *Опускание УГВ после подъема:* $H_{ao,t-1}^w < H_{ao,t}^w$.

При опускании УГВ следом происходит стекание как воды, так и ранее защемленного ЛНП. При первоначальном более интенсивном стекании воды (см. статью [Парамонова и др., 2016]) образуется система «а – о – w», рассчитываемая в Блоке 7, пункт д), с определением кажущегося $\theta_w^a(h_{aw})$ и $\theta_w^{ow}(h_{ow})$. Тогда расчетное $\theta_o^p = \theta_{w,aw}^a - \theta_w^{ow}$, а $\theta_w = \theta_w^{ow}$.

Если $\theta_o^p < \theta_{or}^{aow}$, то $\theta_o < \theta_{or}^{aow}$. Если $\theta_{o,t-1} < \theta_{or}^{aow}$, то $\theta_o = \theta_{o,t-1}$, а $\theta_w = \theta_{w,aw}^a - \theta_o$.

Ниже находится насыщенная водой (s) система с защемленным на времени ($t-1$) θ_o , который остается защемленным и на время t . Тогда $\theta_o = \theta_{o,t-1}$, а $\theta_w = \theta_s - \theta_o$. Если $\theta_{o,t-1} = 0$, то $\theta_w = \theta_s$. При дальнейшем

опускании УГВ ниже системы «а – w» происходит формирование капиллярных зон: h_{ao}^c , если $H_{ao,p}^c < H_{ao}^w$, которая рассчитывается в Блоке 7 по системе «а – о – w», и h_{ow}^c , если $H_{ow}^c > H_{ao}^w$, которая рассчитывается по системе «о – w». H_{ao}^c корректируется согласно пункту ①, H_{ow}^c устанавливается на глубине, где $\theta_o^{ow} \approx \theta_{ot,ow}^m$. Расположенная ниже насыщенная водой зона (s) анализируется аналогично предыдущему пункту.

При дальнейшем опускании УГВ появляется слой мобильного ЛНП, если $T_o^w \geq h_d^{ao} / (1 - \rho_{r,o})$. Принимается его мощность T_o и положение $(H_{ao}^w - H_{ow})$ согласно Блоку 3, уточняются границы капиллярных зон: $h_{ao}^c - (H_{ao}^w - H_{ao}^c)$ – согласно пункту ①, и $h_{ow}^c - (H_{ow}^c - H_{ow})$ – где по расчету $\theta_o \geq \theta_{ot,ow}^m$. Если на предыдущем времени $\theta_{o,t-1} = 0$, то аналогично пункту ① H_{ow}^c устанавливается там, где $\theta_o \approx 20-30\%$ от $\theta_{ot,ow}^m$.

Расположенная выше зона «а – w» и расположенная ниже насыщенная водой зона анализируются аналогично описанному выше.

④ *Повторный подъем уровня:*
 $H_{ao,t-1}^w > H_{ao,t}^w$.

При повторном подъеме УГВ слой с мобильным ЛНП уменьшается до полного исчезновения при $T_o^w < h_d^{ao} / (1 - \rho_{z,o})$ с сокращением капиллярных зон и их исчезновением при $H_{ao,p}^c > H_{ao}^w$ и $H_{ow,p}^c < H_{ao}^w$.

При наличии слоя с мобильным ЛНП и капиллярных зон границы H_{ao}^c и H_{ow}^c уточняются согласно пункту ②. В зонах, расположенных выше H_{ow}^c (с системами «а – w», «а – о – w», «о – w»), значения θ_w и θ_o вписываются в таблицу Блока 9 по данным расчета Блока 7 и описанного выше анализа.

В насыщенной водой зоне (s), если $\theta_{o,t-1} > \theta_{ot,ow}^m$, то $\theta_o = \theta_{ot,ow}^m$; если $\theta_{o,t-1} < \theta_{ot,ow}^m$, то $\theta_o = \theta_{o,t-1}$ и является защемленным (e). $\theta_w = \theta_s - \theta_o$. При $\theta_{o,t-1} = 0$, $\theta_w = \theta_s$.

При дальнейшем подъеме УГВ зона ниже УГВ становится насыщенной водой с защемленным в ней ЛНП, который на период времени $(t - 1)$ был в состоянии r, c, cs, e. $\theta_w = \theta_s - \theta_{o_s,c,cs,e}$.

При расчете зоны «а – w» (выше H_{ao}^c или H), если на предыдущем времени $(t - 1)$ находился ЛНП в остаточном состоянии (r), то расчетом в Блоке 7 получают расчетное значение $\theta_{w,aw}^c$. В таблицу Блока 9 вписываются значения $\theta_w = \theta_{w,aw}^c - \theta_{or}$.

Дальнейшие опускания и подъемы УГВ анализируются аналогично описанному выше.

⑤ *Первое опускание УГВ:*
 $(H_{ao,t-1}^w < H_{ao,t}^w)$ *после формирования слоя с мобильным ЛНП.*

Происходит одновременное опускание уровней (H_{ao}^w и $< H_{ow}^w$) и более медленное уменьшение мощности мобильного слоя ЛНП за счет перехода небольшой части свободного ЛНП в остаточный выше вновь сформированной капиллярной зоны (h_{ao}^c). Насыщенная система «о – w» переходит в систему «а – о – w», в которой выше H_{ao}^c происходит медленное стекание как воды, так и ЛНП. Величина остаточного ЛНП уменьшается со временем стекания до установившихся за время T θ_{or}^{aow} и θ_{wr}^{aow} , что определяется лабораторно (см. статью [Парамонова и др., 2016]) и задается (Блок 1).

Если время стекания T меньше времени процесса опускания УГВ (Δt), то $\theta_w = \theta_{wr}^{aow}$ и $\theta_o = \theta_{or}^{aow}$.

Если при этом $\theta_{o,t-1} < \theta_{or}^{aow}$ и $\theta_{w,t-1} < \theta_{wr}^{aow}$, то $\theta_o = \theta_{o,t-1}$, а $\theta_w = \theta_{w,t-1}$. Если $\theta_{o,t-1} > \theta_{or}^{aow}$ и $\theta_{w,t-1} > \theta_{wr}^{aow}$, то $\theta_o = \theta_{or}^{aow}$ и $\theta_w = \theta_{wr}^{aow}$.

Если $T > \Delta t$, то определяются текущие значения остаточного содержания $\theta_{wr,t}^{aow}$ и $\theta_{or,t}^{aow}$ для глубины z_i из таблицы или графика экспериментальных их замеров в

процессе стекания. Для этого необходимо установить время стекания до глубины z_i (Δt_{z_i}), исходя из того, что время стекания в точке z_i , соответствующей верхнему положению уровня H_{ao}^w , составит Δt . Тогда

$$\Delta t_{z_i} = \Delta t - \frac{\Delta t \times \Delta z_{1-i}}{\Delta z_{1-n}} = \Delta t \left(1 - \frac{\Delta z_{1-i}}{\Delta z_{1-n}} \right),$$

где Δz_{1-i} — расстояние от точки z_i до точки z_1 ; Δz_{1-n} — понижение УГВ за время Δt от точки z_1 до точки z_n , соответствующей нижнему положению уровня H_{ao}^w .

По значению Δt_{z_i} определяются по таблице или графику (в Блоке 1) экспериментальные данные величины текущих остаточных значений $\theta_{or,t}^{aow}$ и $\theta_{wr,t}^{aow}$ для глубин z_i . Дальнейший анализ проводится аналогично вышеописанному для $T < \Delta t$, принимая вместо $\theta_{or,t}^{aow}$ и $\theta_{wr,t}^{aow}$ значения $\theta_{or,t}^{aow}$ и $\theta_{wr,t}^{aow}$.

В зоне «a-w», где на время $(t-1)$ отсутствовал ЛНП, в сформировавшихся зонах h_{ao}^c , T_o , h_{ow}^c , s расчеты и анализ выполнены согласно пункту ①.

Распределение и состояние ЛНП и воды при повторных подъемах и опусканиях УГВ рассчитываются и анализируются аналогично описанному выше.

Блок 9. Формирование массива значений θ_w и θ_o после их расчета и анализа (Блоки 7, 8)

Полученные значения θ_w и θ_o и их состояние после расчета и анализа в Блоках 7, 8 заносятся в таблицу для каждой выделенной для расчета глубины (z_i) по всем рассматриваемым датам.

Состояние ЛНП (θ_o) классифицируется следующим образом:

- капиллярное ненасыщенное (с) – между H_{ao}^w и H_{ao}^c ;
- мобильное (m) – между H_{ao}^w и H_{ow} ;

- капиллярное насыщенное (cs) – между H_{ow} и H_{ow}^c ; при $T_o = 0$ – между H_{ao}^w и H_{ow}^c .
- заземленное (e) – после подъема УГВ, бывшее на предыдущем времени остаточным, лабораторно определенным или капиллярным (r, c, cs);
- остаточное (r) – после опускания УГВ, если на предыдущем времени ЛНП находился в состоянии (r, c, cs, m, e).

Блок 10. Обработка выходных данных

Результаты расчетов и анализа на каждую или указанную дату вносятся в таблицу, имеющую шаблон (рис. 3), для расчета объема воды и ЛНП и его распределения в разрезе и в зависимости от того, в каком состоянии находится ЛНП.

В каждом столбце шаблона приводится: ст. 1 – все глубины z , по которым производится расчет;

ст. 2 – в соответствующих z отмечаются глубины уровней в скважине и породе: H_{ao}^c , H_{ao}^w , H_{ow} , H_{ow}^c , H_{end} – глубина вскрытия водоносного горизонта; берутся из Блока 3;

ст. 3 – рассчитывается величина промежутков между расчетными глубинами:

$$\Delta z = z_n - z_{n-1};$$

ст. 4 – объем грунта между расчетными глубинами в единичном или интересующем сечении:

$$V_{s,\Delta z} = \Delta z F,$$

где F – площадь сечения;

ст. 5 – капиллярный напор «воздух – вода» (h_{aw}) в расчетном сечении (Блок 6);

ст. 6 – капиллярный напор «воздух – ЛНП» (h_{ao}) в расчетном сечении (Блок 6);

ст. 7 – капиллярный напор «ЛНП – вода» (h_{ow}) в расчетном сечении (Блок 6);

ст. 8 – принятое содержание воды (θ_w) на глубине z (из Блока 9);

ст. 9 – осредненное содержание воды ($\theta_{w,md}$) в промежутке глубин z_n и z_{n-1} :

$$\theta_{w,md} = \frac{\theta_{wz_n} + \theta_{wz_{n-1}}}{2};$$

Глуб., z, м, см	Уров- ни	Δz , м, см	$V_{s(\Delta z)}$, м ³ , см ³	$h_{ав}$, м, см	h_{ao} , м, см	h_{ow} , м, см	θ_w , д. ед.	$\theta_{w,md}$, д. ед.	$V_{w(\Delta z)}$, м ³ , см ³	θ_o , д. ед.	$\theta_{o,md}$, д. ед.	$V_{o(\Delta z)}$, м ³ , см ³	Состо- яние	$V_{o,ин}$, м ³ , см ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	H_{ao}^c													
	H_{ao}^w													
	H_{ow}													
	H_{ow}^c													
	H_{end}													
Σ												Σ		

Рис. 3. Шаблон таблицы обработки выходных данных

Fig. 3. The pattern of the table of output data treatment

ст. 10 – объем воды (V_w), содержащейся в интервале Δz :

$$V_{w,\Delta z} = \theta_{w,md} V_{s,\Delta z};$$

в конце столбца суммируются все $V_{w,\Delta z}$, определяя общее содержание воды в разрезе;

ст. 11 – принятое содержание ЛНП (θ_o) на глубине z (из Блока 9);

ст. 12 – осредненное содержание ЛНП ($\theta_{o,md}$) в промежутке глубин Z_n и Z_{n-1} :

$$\theta_{o,md} = \frac{\theta_{ozn} + \theta_{ozn-1}}{2};$$

ст. 13 – объем ЛНП, содержащийся в интервале Δz :

$$(V_{o,\Delta z} = \theta_{o,md} V_{s,\Delta z});$$

в конце столбца суммируются все $V_{o,\Delta z}$, определяя общее содержание ЛНП в разрезе;

ст. 14 – обозначения состояния ЛНП, находящегося в грунте: «с» – в капиллярном состоянии выше уровня мобильного ЛНП (H_{ao}^w) в системе «а – о – w» в интервале ($H_{ao}^w - H_{ao}^c$); «m» – в мобильном состоянии в интервале уровней ($H_{ao}^w - H_{ow}$); «cs» – в капил-

лярном состоянии ниже уровня H_{ow} в интервале ($H_{ow}^c - H_{ow}$); «r» – остаточный ЛНП после процесса дренирования в трехфлюидной системе; «e» – заземленный ЛНП после подъема УВ;

ст. 15 – объем ЛНП в выделенных интервалах состояния ЛНП.

Блок 11. Вывод выбранных промежуточных таблиц и результатов (таблицы Блока 10) на выбранные даты в файл

Выбираются пользователем.

Выводы

Приведенный в статье порядок расчета и анализа флюидных систем в загрязненной ЛНП геологической среде в процессе колебания УГВ проверен физическим моделированием создания слоя с мобильным авиационным керосином на уровне воды в колонне с песком и его трансформации в процессе подъема и опускания уровня воды. Объемы находящиеся в колонне воды и ЛНП определены объемным измерением и расчетами по данному алгоритму. Результаты и сопоставление лабораторных исследований и расчетов будут изложены в последующих статьях.

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 funda-

mentals of studying of subsurface contamination with light petroleum products. Kiev: A. P. N., 278 p. (in Russian).

2. Огняник Н. К. Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе

колебания уровня грунтовых вод. Ст. 1. Теоретическая база расчета двухфлюидной системы «воздух – смачивающий флюид» в пористой среде / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова // Геол. журн. – 2016а. – № 2 (355). – С. 90-98.

*Ognianik N.S., Paramonova N.K., 2016a. Theoretical foundation for calculation of fluid systems in the subsurface contaminated with light petroleum products during groundwater fluctuation. Paper 1. Theoretical foundation for calculation “air – wetting fluid” two-phase systems in porous media. *Geologichnyy zhurnal*, № 2 (355), p. 90-98 (in Russian).*

3. Огняник Н. К. Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод. Ст. 2. Теоретическая база расчета двухфлюидной системы «легкие нефтепродукты – вода» в пористой среде / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова // Геол. журн. – 2016б. – № 3 (356). – С. 89-103.

*Ognianik N.S., Paramonova N.K., 2016b. 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. *Geologichnyy zhurnal*, № 3(356), p. 89-103 (in Russian).*

4. Огняник Н.С. Теоретическая база расчета флюидных систем в загрязненной легкими нефтепродуктами геологической среде в процессе колебания уровня грунтовых вод. Ст. 3. Теоретическая база расчета трехфлюидной системы «воздух – легкие нефтепродукты – вода» в пори-

стой среде / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова // Геол. журн. – 2016в. – № 4 (357). – С. 87-102.

*Ognianik N.S., Paramonova N.K., 2016v. Theoretical foundation for calculation of fluid systems in the subsurface contaminated with light petroleum products during groundwater fluctuation. Paper 3. Theoretical foundation for calculation of “air – light petroleum products – water” three-phase systems in porous media. *Geologichnyy zhurnal*, № 4 (357), p. 87-102 (in Russian).*

5. Парамонова Н.К. Влияние колебания уровня грунтовых вод на формирование остаточных и заземленных легких нефтепродуктов / Н.К. Парамонова, Г.И. Голуб, И.Н. Запольский, О.И. Логвиненко, Ю.А. Негода // Геол. журн. – 2016. – № 1 (354). – С. 112–124.

*Paramonova N.K., Golub G.I., Zapolski I.N., Logvinenko O.I., Negoda Y.A., 2016. Influence of water table fluctuations on formation of retained and trapped light petroleum products. *Geologichnyy zhurnal*, № 1 (354), p. 112–124 (in Russian).*

6. Парамонова Н.К. Расчет распределения мобильных и удерживаемых легких нефтепродуктов в линзе, сформировавшейся на грунтовых водах / Н.К. Парамонова // Геол. журн. – 2003. – № 3 (304). – С. 69–76.

*Paramonova N.K., 2003. Estimation of mobile and retained light hydrocarbon distribution in a lens on groundwater table. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (304), p. 69–76 (in Russian).*

Статья поступила
30.03.2016

**ВЫДАЮЩИЙСЯ СТРАТИГРАФ И ПАЛЕОНТОЛОГ
ЛЕОНИД СИГИЗМУНДОВИЧ ЛИБРОВИЧ***(К 125-летию со дня рождения)***Н.Н. Шаталов**

Среди деятелей Геологического комитета (позднее ВСЕГЕИ) видное место принадлежит профессору Леониду Сигизмундовичу Либровичу (1891-1967). В историю геологической науки Л.С. Либрович вошел как выдающийся организатор геологических исследований, блестящий геолог-съёмщик, талантливый стратиграф и палеонтолог, крупнейший знаток карбона Донбасса и бывшего СССР. В течение многих лет Л.С. Либрович работал на Урале, Кавказе, Донбассе, Средней Азии, провел большую экспедицию в Северную Персию (Иран). Кроме того, в юности он путешествовал в Италию, где природа и искусство произвели на него неизгладимое впечатление.

Родился Леонид Сигизмундович в Петербурге 28 января 1891 г. в семье литератора и был третьим, младшим ребенком. Учился легко и свободно, мечтал о путешествиях, но не принадлежал к числу отличников. В 1911 г. он поступает в Горный институт – в одну из лучших геологических школ страны, где кафедры возглавляли авторитетные ученые: Е.С. Федоров, В.И. Бауман, К.И. Богданович, В.В. Никитин, Н.Н. Яковлев. Склонность студента к палеонтолого-стратиграфическим исследованиям сложилась под влиянием А.П. Карпинского, А.А. Борисяка, Н.Н. Яковлева. Летом 1915 г. он работает в Средней Азии, где совместно с геологом Д.В. Никитиным собрал первую коллекцию нижнекаменноугольных цефалопод. Их изучение представлено им в 1916 г. в Горный институт в качестве дипломной работы.

Весной 1918 г. в Геологическом комитете под руководством проф. А.А. Борисяка Леонид Сигизмундович занимался обработкой коллекции аммонитов из юрских отложений Северного Кавказа. Летом 1918 г. он самостоятельно ведет геологические исследования в важном промышленном районе – Челябинском бурогольном бассейне. Планомерное исследование геологии Урала в 20-30-е годы XX ст. позволило

Л.С. Либровичу собрать огромный фактический материал по стратиграфии и тектонике региона. При этом особое внимание им уделялось обработке палеонтологических коллекций, в частности изучению цефалопод карбона.

В 1927 г. Л.С. Либрович становится секретарем Палеонтологической секции Геолкома, председателем которой был А.А. Борисяк. К нему на определение присылают цефалоподы из карбона Донбасса, Новой Земли, Северного Казахстана и других регионов бывшего СССР.

Весной 1937 г. ученый защитил докторскую диссертацию на тему «*Ammonoidea* из каменноугольных отложений СССР и их биостратиграфическое значение». В следующем году ему присвоено звание профессора по специальности «геология и палеонтология».

В 1952 г. Л.С. Либрович назначается председателем стратиграфической комиссии ВСЕГЕИ, в задачу которой входила разработка проекта «общей единообразной системы стратиграфических подразделений, их терминологии и номенклатуры». Работа комиссии и опубликованная так называемая Зеленая книжка составили определенный этап в развитии стратиграфии бывшего СССР. Научные и организационные результаты

работы комиссии были выдающимися. Они привели к созданию в бывшем СССР Межведомственного стратиграфического комитета, а Л.С. Либрович становится высшим авторитетом. К нему постоянно обращаются за консультацией, и он с юмором и неизменной эрудицией всегда безотказно разъясняет, убеждает, наставляет.

В 1961 г. Л.С. Либрович избирается почетным членом Всесоюзного палеонтологического общества, в деятельности которого он принимал активное участие – выступал с докладами на сессиях и печатался в его трудах. В 50-60-е годы XX ст. главное место в его работе занимают проблемы стратиграфии, вопросы палеонтологии и стратиграфии карбона. Однако полевые исследования он больше не ведет.

Ученым опубликовано около 120 научных работ – монографий и статей. Кроме того, написано ряд рукописных отчетов. Все они, несомненно, вошли в золотой фонд геологической науки. Список его основных публикаций приведен в посвященной ему книге «Проблемы стратиграфии карбона» (1970 г.). Около трети его работ посвящено геологии, стратиграфии и палеонтологии Урала. Однако большое внимание в работах ученого уделено также Донбассу.

Заслуги Л.С. Либровича в деле изучения Донбасса в значительной мере связаны с разработкой стратиграфии каменноугольных отложений и проблем границы девонской и каменноугольной систем. По его мнению, границу девона и карбона следует проводить в основании цефалоподовой зоны *Wocklumeria*. Такое положение нижней границы карбона существенно отличалось от уровня, который до этого был принят для неё решениями двух Международных конгрессов по геологии и стратиграфии карбона.

Другой проблемой каменноугольной стратиграфии, которой ученый уделял большое внимание, является проблема намюрского яруса и тесно связанный с ней вопрос о границе нижнего и среднего карбона. Намюрский ярус, выделенный в 1933 г. в Бельгии геологом Пюрве, долгое время не находил места в ярусной шкале карбона, применявшейся в нашей стране. В 1928 г. Н.И. Лебедев попытался впервые в бывшем СССР выделить намюрский ярус в разрезе

Донецкого бассейна. Но лишь в 30-х годах, по инициативе Л.С. Либровича и А.П. Ротая, намюрский ярус получил наконец всеобщее признание стратиграфов и занял свое место в стратиграфической шкале карбона бывшего СССР между визейским ярусом и основанием среднего карбона. Л.С. Либровичем был сделан особенно важный вклад в дело обоснования самостоятельности намюрского яруса, установления его объёма и подразделения на основе изучения гониатитовых фаун. Оба указанных ученых и в дальнейшем остались сторонниками и пропагандистами намюрского яруса в нашей стране. Сам Л.С. Либрович до конца своей жизни отстаивал необходимость сохранения намюрского яруса в стратиграфической шкале карбона и решительно возражал против предложений о его упразднении или замене.

Исключительный интерес представляют палеонтологические исследования ученого – каменноугольных аммоноидей Донецкого бассейна. Важно подчеркнуть, что разрез карбона Донбасса по полноте и палеонтологической охарактеризованности является признанным эталоном каменноугольной системы, который мог быть использован при решении спорных вопросов её стратиграфии. Этому во многом способствует богатство, разнообразие и относительно полная изученность литологии, фауны и флоры Донецкого карбона. Исключением являлись аммоноидеи, до исследований Л.С. Либровича остававшиеся практически неизученными, если не считать упоминаний об отдельных находках их представителей, приводимых Н.И. Лебедевым. Существенный пробел в палеонтологической характеристике каменноугольных отложений Донбасса был восполнен Л.С. Либровичем, который изучил обширную коллекцию аммоноидей, составленную из сборов многих геологов – исследователей Донецкого карбона и охватывающую значительную часть его разреза от верхов визейского яруса до низов верхнего отдела.

Научная работа по изучению аммоноидей карбона Донбасса была завершена Л.С. Либровичем еще в 1940 г., однако опубликована лишь в 1946 г. в виде статьи «Новая схема подразделения и корреляции карбона Донецкого бассейна (на основе

распространения цефалоподовых фаун»).

В данной статье изложены только стратиграфические выводы, основанные на изучении 20 видов, происходивших из различных частей разреза карбона Донбасса. Эти выводы позволили существенно уточнить положение отдельных уровней в общей шкале каменноугольной системы. Описательная же часть работы Л.С. Либровича, посвященная каменноугольным аммоноидеям Донбасса, к сожалению, не была им полностью опубликована, за исключением кратких форм описаний отдельных форм, помещенных в различных его статьях.

А.В. Попов предпринял попытку переизучения на современном уровне каменноугольных аммоноидей Донецкого бассейна с использованием коллекций, ранее описанных Л.С. Либровичем и дополненных новыми сборами, значительно расширившими исходный материал. А.В. Попов использовал также и сохранившийся рукописный текст описательной части работы Л.С. Либровича, что позволило ему опубликовать описания и изображения новых видов, установленных последним и не известных палеонтологам. Результаты исследований аммоноидей Донбасса А.В. Поповым опубликованы в 1979 г. в статье «*Каменноугольные аммоноидеи Донбасса и их стратиграфическое значение*».

В 1957 г. вышла в свет небольшая по объёму работа Л.С. Либровича «*О некоторых новых группах гониатитов из каменноугольных отложений СССР*». В ней приводятся диагнозы ряда ранее выделенных им родов и подродов, оставшихся до этого неопубликованными. А также описания и изображения их типовых видов. Однако её публикация имела большое значение, поскольку сделала валидными ряд таксонов, представляющих долгое время «голые имена», что ограничивало возможность использования их в систематике каменноугольных аммоноидей. В работе выделено три новых семейства гониатитов, для которых приводится их характеристика, а в заключение предлагается новая схема общей систематики каменноугольных аммоноидей.

Одной из важных по значению и наиболее крупных по объёму палеонтологических работ Л.С. Либровича явилось описание гониатитов раннего и среднего карбона в

систематической части раздела «*Аммоноидеи*» сводки «*Основы палеонтологии*», в первом её томе – «*Моллюски головоногие*» (1962 г.). Последней работой ученого явилась посмертно опубликованная статья о распространении аммоноидей в морях карбона (1968 г.), в которой им выделены крупные биогеографические области и провинции, существовавшие в течение каменноугольного периода.

В заключение важно отметить, что палеонтологические работы Л.С. Либровича, посвященные каменноугольным аммоноидеям, содержат классическое описание большого числа видов, родов и высших таксонов группы цефалопод и в своей совокупности составляют крупнейший вклад в дело познания цефалоподовых фаун карбона бывшего СССР, разработки их систематики и выяснения стратиграфического значения. Особую ценность палеонтологическим работам ученого придает тщательность описаний в сочетании с глубоким анализом фактического материала и превосходным знанием мировой литературы по аммоноидеям и стратиграфии карбона. Он явился первым отечественным палеонтологом, в полной мере продемонстрировавшим богатство и разнообразие каменноугольных аммоноидей и то огромное значение, которое представляет эта группа для стратиграфии карбона бывшего СССР. Работы Л.С. Либровича по аммоноидеям известны не только в нашей стране, но и далеко за её пределами, они создали ему заслуженный авторитет специалиста мирового класса, вошли в золотой фонд палеонтологии и остаются настольными книгами каждого специалиста по аммоноидеям карбона. Палеонтологические работы ученого направлены на решение сложных стратиграфических проблем и поэтому теснейшим образом связаны с циклом его работ, посвященных стратиграфии карбона.

С именем ученого связана еще одна работа, завершающая серию трудов по общим вопросам стратиграфии, составленных им или под его руководством по заданию Межведомственного стратиграфического комитета и в совокупности ставших праобразом будущего стратиграфического кодекса. Этой работой явилась брошюра «*Задачи и*

правила изучения и описания стратотипов и опорных разрезов». Она составлена Л.С. Либровичем при участии Н.К. Овечкина и опубликована в 1963 г. в качестве обязательной инструкции МСК. В ней ученый наряду с полной экспликацией термина «стратотип» впервые предложил и разъяснил такие понятия, как парастратотип, лектостратотип и гипостратотип. Ему же принадлежит заслуга установления понятий «стратотипическая местность» и «стратотипический район». Им было предложено различать две следующие категории стратотипов: 1) стратотипы подразделений общей стратиграфической шкалы (например, ярусы) и 2) стратотипы региональных стратотипов (например, серий и свит). Для обеих категорий были разработаны соответствующие рекомендации по выбору геологических разрезов и схемы их описания. Раздел книги, посвященный стратотипам, позднее был положен в основу соответствующей главы в Стратиграфическом кодексе СССР.

В рассматриваемой брошюре также вводится еще одно понятие, получившее в дальнейшем широкое признание – опорные разрезы. Под опорными стратиграфическими разрезами авторы понимают лучшие (по полноте, обнаженности, палеонтологической охарактеризованности) разрезы отложений, развитых в пределах какого-либо региона или одной из основных его частей, которые соответствуют стратону общей шкалы (отделу, ярусу) или крупному региональному стратиграфическому подразделению (серии). Такие разрезы, по мнению ученого, отражают характерные особенности геологического развития и палеогеографии за соответствующий временной интервал. Опорные разрезы служат своего рода эталонами для сопоставления с ними других разрезов соответствующих по возрасту отложений данного региона, а также для корреляции с одновозрастными отложениями других регионов при межрегиональных сопоставлениях.

Богатый личный опыт стратиграфо-палеонтологических исследований рано привел Л.С. Либровича к убеждению о ведущем значении палеонтологического метода в стратиграфии. Еще в 1939 г. он выступил на эту тему с докладом на Всесоюзном пале-

онтолого-стратиграфическом совещании. В виде статьи «О палеонтологическом методе в стратиграфии» доклад был опубликован в 1948 г. В статье ученый излагает преимущества палеонтологического метода перед другими методами, которые заключаются в необратимости развития органического мира и неповторяемости в истории Земли одинаковых форм животных и растений, а также в широком географическом распространении многих форм и целых комплексов фауны и флоры.

По высказыванию академика Д.В. Наливкина, «...Стратиграфические работы Л.С. Либровича всегда отличались необыкновенной тщательностью, точностью и детальностью. Высоко было их палеонтологическое обоснование. Последняя особенность позволяла ему нередко выдвигать новые предложения, новые выводы. Он был настоящим новатором в науке и, придя к определенному мнению, не останавливался даже тогда, когда оно шло в разрез с общепринятой точкой зрения».

Работам Л.С. Либровича свойственна простота и ясность изложения, сочетающаяся со строгой логичностью и убедительностью аргументации выдвигаемых положений. Ученый был скромным, остроумным и общительным человеком. Основное место в его жизни занимала наука. Его вклад в науку огромен и бесценен. Л.С. Либрович заслуженно приобрел широкую международную известность. Он собрал первую в бывшем СССР, довольно редкую коллекцию гониатитов карбона, имел личную библиотеку и библиографию по палеонтологии и стратиграфии его. Леонид Сигизмундович имел открытый и веселый характер, любил отдыхать в кругу семьи, коллег и друзей. Среди них выдающиеся ученые – О.Л. Эйнон, В.Г. Грушевой, К.А. Львов и др. Он сам хорошо пел, танцевал и любил классическую музыку. Ученый прожил большую жизнь и до последних дней сохранил трудоспособность и ясный ум. Его плодотворная научная деятельность была отмечена высокими правительственными наградами.

Статья поступила
15.02.2016

ПАМ'ЯТІ ОЛЕКСІЯ ІЛЛІЧА САХАЦЬКОГО

5 листопада 2016 р. раптово пішов з життя відомий вчений, гідрогеолог та фахівець у галузі дистанційного дослідження Землі (ДДЗ), доктор геологічних наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, завідувачий лабораторією Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук (ІГН) Національної академії наук України».



Народився Олексій Ілліч 4 листопада 1954 р. у м. Київ у сім'ї геолога. На початку його життєвого шляху було навчання в двох школах: загальноосвітній, яку він закінчив з медаллю, та музичній. Як романтична натура, що зачарована мандрями та під впливом розповідей батька, з яким у нього протягом усього життя були особливо теплі стосунки, він у 1972 р. вступив до Київського державного університету імені Т.Г. Шевченка на геологічний факультет. Спеціалізацію вибрав «гідрогеологія та інженерна геологія». Університет закінчив у 1977 р. з відзнакою, одночасно з цим одержав диплом перекладача англійської мови.

Після закінчення університету О.І. Сахачький розпочав трудову діяльність в ІГН НАН України у відділі тепломасопереносу в земній корі, а з 1992 р. – у Науковій установі Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, де з 2011 р. очолював Лабораторію дослідження природних ресурсів дистанційними методами.

Олексій Ілліч все життя самовіддано, цілеспрямовано, наполегливо працював, освоюючи нові напрями науки. Результатами цієї праці стали успішні захисти дисертацій: спочатку кандидатської (1990 р.) за спеціальністю «гідрогеологія», а потім (2009 р.) – докторської за спеціальністю «дистанційне дослідження Землі».

До сфери його наукових інтересів спочатку входили питання, пов'язані з моделюванням на ЕОМ прямих та обернених задач геофільтрації, процесів енергомасообміну в земній корі для оцінки запасів підземних вод, глибинного тепловідбору, захисту підземних вод від забруднення та інші питання.

Починаючи з 1992 р. О.І. Сахачький почав досліджувати питання дешифрування космічних знімків, використання даних ДЗЗ для вирішення природоресурсних та природоохоронних задач, визначення параметрів моделей енергомасообміну у геосистемах з урахуванням даних ДЗЗ з використанням ГІС – технологій на основі сучасних програмних засобів. Розробив ряд власних методичних підходів та програмних засобів для вирішення вказаних питань.

В останні 10 років Олексій Ілліч особливо багато уваги приділяв розробці методики прогнозування врожайності сільськогосподарчих культур за даними обробки багатозональних космічних знімків. Отримані ним результати були впроваджені у різних виробничих сільськогосподарчих організаціях.

Вченим надруковано понад 120 наукових робіт – статей та багато монографій.

Широкий кругозір, професіоналізм, самовідданість, вимогливість до себе, прагнення

до пізнання нового дозволили О.І. Сахацькому успішно співпрацювати у межах очолюваної лабораторії з математиками, програмістами, геологами, біологами, географами, спеціалістами у сфері ДЗЗ.

Олексій Ілліч був відповідальним виконавцем ряду національних та міжнародних проектів по дослідженню стану лісів, оцінці екологічного стану територій на основі використання космічних знімків. Брав участь у виконанні міжнародних проектів, присвячених оцінці екологічного стану рослинного покриву Чорнобильської зони відчуження за даними ДЗЗ спільно з вченими Німеччини та Франції, а також у спільній роботі з японськими вченими щодо захисту довкілля після катастрофи на АЕС «Фукусіма».

Вчений багато виступав з доповідями на наукових семінарах, симпозиумах та конференціях, присвячених проблемам ДДЗ, як на Україні, так і за її межами. Свій багатий професійний досвід та знання він

охоче передавав усім, хто звертався до нього за порадою.

Внесок Олексія Ілліча в науку неодноразово було відмічено на різних рівнях – він лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки 2005 р., його нагороджено Почесною грамотою Президії НАН України та Центрального комітету профспілки працівників НАН України (1996 р.), він отримав премію Республіканського науково-економічного товариства (1982 р.).

Олексій Ілліч Сахацький був яскравою особистістю, дуже любив життя. Йому були притаманні відданість своїй справі, виняткова працездатність і відповідальність. Це була доброзичлива, тактовна, інтелігентна і ввічлива людина. Йому були властиві такі рідкісні зараз дарунки долі, як делікатність та порядність. Світлий образ цього талановитого вченого, інтелігентної та чуйної людини назавжди залишиться у серцях його колег і друзів.

*Колектив співробітників Державної установи
«Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук
Національної академії наук України»,
редакційна колегія «Геологічного журналу»*

ПОКАЖЧИК СТАТЕЙ ЗА 2016 р.

<i>Артеменко Г.В., Бородиня Б.В., Стеценко М.Е.</i> Геохімічні особливості метабазитів Павлівської та Зеленогайської зеленокам'яних структур Східного Приазов'я (Український щит)	4	37
<i>Багрій І.Д., Почтаренко В.І., Дубосарський В.Р., Янцевич О.О., Семенюк В.Г., Грига М.В., Малишев О.М., Гафіч І.П.</i> Геолого-структурно-геохімічні особливості формування родовищ горючих сланців та вуглеводневих покладів Бовтиської імпаکتної структури	2	17
<i>Бояріна Н.І.</i> Макрофлористичні зони середнього і верхнього карбону (пенсільванської підсистеми) Донецького басейну	1	21
<i>Брикс А.Л., Негода Ю.О.</i> Деякі аспекти розчинення вуглеводнів у трансформації скупчень легких нафтопродуктів у геологічному середовищі	1	125
<i>Вижва С.А., Іванік О.М., Литвинов В.В., Назаренко М.В., Бондар К.М.</i> Принципи та методи моделювання стану геологічного середовища з метою прогнозування газодинамічних явищ . .	1	94
<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	3	7
<i>Грінченко О.В., Бондаренко С.М., Сидорчук В.С.</i> Типізація гранітоїдних утворень та їх рудоносність	4	27
<i>Гожик П.Ф., [Макаренко Д.Є.], Маслун Н.В., Ключина Г.В.</i> ПАВЛО АПОЛЛОНОВИЧ ТУТКОВСЬКИЙ – засновник і перший директор Інституту геологічних наук НАН України, фундатор мікропалеонтологічної школи	2	7
<i>Дикань К.В.</i> Про евристичну вартісність неокреаціонізму	3	113
<i>Драгомирецький О.В., Кадурін В.М.</i> Принцип суперпозиції при побудові геолого-генетичних моделей золоторудних систем Українського щита	2	55
<i>Іванова А.В.</i> Вплив геотектонічних умов на формування вугленосних формацій Львівського та Переддобруджинського прогинів	1	36
<i>Іщенко І.І., Лещух Р.Й., Якушин Л.М.</i> Стратиграфія крейдових відкладів Рівнинного Криму. Стаття 1. Нижня крейда	2	73
<i>Іщенко І.І., Лещух Р.Й., Якушин Л.М.</i> Стратиграфія крейдових відкладів Рівнинного Криму. Стаття 2. Верхня крейда	4	7
<i>Карпенко А.М.</i> Пізньоміоцен-пліоценові тераси Північноукраїнської палеоседиментаційної провінції. Стаття 1. Еволюція поглядів	15	1
<i>Коваленко В.А.</i> Прісноводні молюски (GASTROPODA, PULMONATA, LYMNAEIDAE) в меотичних відкладах півдня України	4	19
<i>Кривдік С.Г.</i> До проблеми карбонатитів і карбонатитових комплексів	1	7
<i>Кривдік С.Г., Гаценко В.О., Луцьов Є.С.</i> Про контактний вплив сублужних габроїдів (мафітів) Покрово-Кириївського масиву на вміщувальні граніти	3	21
<i>Люта Н.Г., Лютий Г.Г., Приходько С.М.</i> Особливості змін якості підземних вод у процесі експлуатації водозаборів на території Львівської області	2	99
<i>Михальченко І.І., Іванов Б.Н.</i> Уран і торій у рудних альбітитах глибоких горизонтів Ватутінського родовища (Український щит)	3	31
<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 1. Теоретична база розрахунку двофлюїдної системи «повітря – змочуючий флюїд» у пористому середовищі	2	90
<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 «легкі нафтопродукти – вода» у пористому середовищі	3	89

<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 3. Теоретична база розрахунку трифлюїдної системи «повітря – легкі нафтопродукти – вода» у пористому середовищі	4	87
<i>Парамонова Н.К., Гамшеєва І.С., Запольський І.М.</i> Теоретична база розрахунку флюїдних систем у забрудненому легкими нафтопродуктами геологічному середовищі у процесі коливання рівня ґрунтових вод. Стаття 4. Порядок розрахунку та аналізу флюїдних систем у забрудненому легкими нафтопродуктами геологічному середовищі у процесі коливання рівня ґрунтових вод	4	103
<i>Парамонова Н.К., Голуб Г.І., Запольський І.М., Логвиненко О.І., Негода Ю.О.</i> Вплив коливання рівня ґрунтових вод на формування залишкових та защемлених легких нафтопродуктів	1	112
<i>Побережський А.В., Бучинська І.В., Явний П.М., Шевчук О.М.</i> Викидонебезпечність пісковиків Тяглівського родовища Південно-Західного району Львівсько-Волинського басейну	4	53
<i>Присяжнюк В.А.</i> Місцезнаходження і комплекси наземних молюсків неогену південно-західної частини Східно-Європейської платформи	2	63
<i>Рибін В.Ф., Беспалова О.М.</i> Оцінка техногенних впливів на історико-архітектурні пам'ятки Києво-Печерської Лаври	1	103
<i>Семенюк В.Г.</i> Впровадження приповерхневих методів досліджень на Ротмістрівській імпактній структурі з метою вивчення її геолого-геохімічних особливостей	3	43
<i>Семенюк В.Г.</i> Впровадження приповерхневих методів досліджень з метою вивчення геолого-геохімічних особливостей Зеленогайської площі та одноіменної імпактної структури	4	65
<i>Ситніков А.Б.</i> Методика оцінки випаровування з поверхні ропи Східного лікувального басейну Сакського озера на основі балансу мас солей і об'ємів розсолів	3	104
<i>Ситніков А.Б.</i> Розробка емпірико-аналітичної формули випаровування (конденсації) води з ропи Східного лікувального басейну Сакського озера	4	77
<i>Хрущов Д.П., Белєвцев Р.Я., Бобров О.Б., Гейченко М.В., Артеменко Г.В., Лобасов О.П.</i> Регіональне цифрове структурно-петрологічне моделювання кристалічних утворень території України	3	55
<i>Цимбал С.Н., Хрущов Д.П., Лобасов О.П.</i> Цифрова структурно-літологічна модель Тарасівського родовища титано-цирконієвих руд	1	81
<i>Шаталов М.М.</i> Тектоніка Покрово-Київського рудоносного вузла Приазов'я	1	69
<i>Шестопапов В.М., Бублясь В.Н.</i> Про формування западинно-каналних структур міграції	3	73
<i>Шкапенко В.В., Кадошніков В.М., Мусіч О.Г., Писанська І.Р.</i> Біотрансформація вуглеводнів у донних осадах	2	43
Гіпотези. Дискусії. Рецензії		
<i>Багрій І.Д.</i> Гідро-геосинергетична біогенно-мантійна гіпотеза утворення вуглеводнів та її роль при обґрунтуванні прямопошукової технології	2	107
<i>Лукін О.Ю.</i> «Це мій шлях...» (спогади і роздуми одного із піонерів освоєння вуглеводневого потенціалу надр південного сходу Дніпровсько-Донецького регіону)	1	134
Із історії науки		
<i>Шаталов М.М.</i> Видатний геолог-зйомщик та стратиграф Донбасу ФЕОДОСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ ЧЕРНИШОВ (До 160-річчя від дня народження)	3	120
<i>Шаталов М.М.</i> Видатний стратиграф та палеонтолог ЛЕОНІД СІГІЗМУНДОВИЧ ЛІБРОВИЧ (До 125-річчя від дня народження)	4	115
<i>Шаталов М.М.</i> ПЕТРО ФЕДОРОВИЧ ШПАК – видатний міністр, вчений, громадянин (До 85-річчя від дня народження)	2	133
Ювілеї		
<i>Академік ШЕСТОПАЛОВ В'ЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ</i> (До 80-річчя від дня народження)	3	124
Втрати науки		
<i>Пам'яті ОЛЕКСІЯ ІЛЛІЧА САХАЦЬКОГО</i>	4	119

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](http://www.nbov.gov.ua/node/869)).

До редакції подавати паперову копію статті та рисунків (два примірники), шрифт 11 pt через 1,5 інтервали. Роздрукована 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.