

ISSN 1682-721X

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ MINERAL RESOURCES of UKRAINE УКРАЇНИ



ISSN 1682-721X



9 771682 721002



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC JOURNAL

4'2020

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Науковий журнал, виходить 4 рази на рік,
грудень, 2020 р.
Видається з 01.03.1994 р.

MINERAL RESOURCES OF UKRAINE

Scientific journal, is published 4 times per year,
December, 2020
Published since 01.03.1994

УДК 55(477)(051)
ББК 26.3(4УКР)Я5
М61

ЗАСНОВНИК / FOUNDER

Український державний геологорозвідувальний інститут
Ukrainian State Geological Research Institute

Зареєстровано в Державній реєстраційній службі
України, свідоцтво про державну реєстрацію
серія КВ № 23790-13630ПР від 15.03.2019 р.

Registered in the State Registration Service of Ukraine,
certificate of state registration
KB № 23790-13630PR dated 15.03.2019

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР / EDITOR-IN-CHIEF

Г. І. Рудько
H. Rudko

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ / EDITORIAL TEAM

А. А. Локтев / A. Loktiev

(заст. головного редактора / Deputy editor)

М. Д. Красножон / M. Krasnozhan

(заст. головного редактора / Deputy editor)

С. О. Некрасова / S. Nekrasova

(відповідальна секретарка / Executive secretary)

О. О. Акульшин / O. Akulshyn, В. І. Бондаренко / V. Bondarenko, Ю. І. Войтенко / Yu. Voitenko,
Л. В. Ісаков / L. Isakov, М. М. Костенко / M. Kostenko,
О. В. Кравченко / O. Kravchenko, Е. Д. Кузьменко / E. Kuzmenko, Я. Г. Лазарук / Ya. Lazaruk, Н. Г. Люта / N. Lyuta,
Г. Г. Лютий / G. Lyutyi, О. І. Ляшенко / O. Liashenko,
В. А. Михайлов / V. Mykhailov, О. В. Плотников / O. Plotnikov,
О. М. Пономаренко / O. Ponomarenko, В. Л. Приходько / V. Prykhodko,
Р. І. Стефурак / R. Stefurak, В. В. Сукач / V. Sukach, В. М. Хоменко / V. Khomenko, М. М. Шаталов / M. Shatalov, С. О. Яковлев / Ye. Yakovlev

ЗАРУБІЖНІ ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ / INTERNATIONAL EDITORS:

Ад. А. Алієв / Ad. Aliyev, М. М. Зінчук / M. Zinchuk,
Лін Лі / Lin Li, А. Пестржинський / A. Piestrzynski,
Т. Тодоров / T. Todorov, В. Вімблдон / W. Wimbledon,
А. Шашмаз / A. Şaşmaz, Шенжі Юнг / Chenggui Jing

Відповідальний за випуск / Responsible for the issue
М. М. Костенко / M. Kostenko

У разі передруку посилання на
“Мінеральні ресурси України” обов’язкове

In the case of the reprint – reference to
“Mineral Resources of Ukraine” is obligatory

Рекомендовано до друку вченою радою УкрДГРІ
протокол № 4 від 6.10.2020 р.

Видавництво УкрДГРІ, свідоцтво про державну
реєстрацію № 182 серія ДК від 18.09.2000 р.
04114, м. Київ, вул. Автозаводська, 78А

Publisher UkrDHRI, Certificate of state
registration № 182 series DK dated September 18, 2000
04114, Kyiv, str. Avtozavodska, 78A

Наукове видання внесено до переліку наукових
фахових видань України категорії “Б” з геологічної
й технічної галузей науки, спеціальності – 103, 184, 185

Наказ Міністерства освіти та науки України
№ 409 від 17.03.2020 р.

Журнал індексується в Google Scholar.
У 2016 р. його зареєстровано в системі
Index Copernicus. Індекс ICV2018 = 75,87.
У 2019 р. журнал унесено в базу DOAJ, у 2020 р. – в EBSCO.

Адреса редакції: 04114, м. Київ, вул. Автозаводська, 78А

© УкрДГРІ, 2020

4/2020

ЗМІСТ / CONTENTS

Колонка головного редактора
Editor-in-chief's column

3

КАЛАШНИК Г. А. / KALASHNYK G.

Результати геолого-геофізичних досліджень на Суботській
структурі Інгільського мегаблока Українського щита
Results of geological and geophysical research on the Subotska
structure of Inhulskyi megablock of the Ukrainian shield

4

НАУМЕНКО У. З., МАЦУЙ В. М. / NAUMENKO U., MATSUI V.

Карта викопних смол України
Map of fossil resins of Ukraine

13

ЛЕСЬКІВ І. В. / LESKIV I.

Найближча перспектива видобутку йоду в Україні
The nearest prospect of iodine production in Ukraine

18

МАЛЬКОВА Я. О., ДОЛІН В. В., БОБКОВ В. М. /

MALKOVA Ya., DOLIN V., BOBKOV V.

Експериментальне моделювання конвекційно-дифузійного
масоперенесення в розсолах Домбровського кар'єру
(м. Калуш Івано-Франківської області)
Experimental modeling of convection-diffuse mass transfer in brine
of Dombrovskyi quarry (Kalush, Ivano-Frankivsk region)

22

ЛУКІН О. Ю., ГАФИЧ І. П., ГОНЧАРОВ Г. Г., МАКОГОН В. В., ПРИГАРИНА Т. М. /

LUKIN O., GAFYCH I., GONCHAROV G., MAKOGON V., PRYGARINA T.

Вуглеводневий потенціал надр України
та головні напрями його освоєння
Hydrocarbon potential in entrails of the earth of Ukraine
and main trend of its development

28

МАТКІВСЬКИЙ С. В. / MATKIVSKIY S.

Теоретико-методологічні особливості побудови постійно діючих
геолого-технологічних моделей родовищ вуглеводнів
Theoretical and methodological features of creating reservoir models
of hydrocarbon fields

39

ШАТАЛОВ М. М. / SHATALOV M.

Основоположник металогенічної науки
До 125-річчя академіка С. С. Смирнова
Founder of metallogenic science
To the 125th anniversary of Academician S. Smirnov
Світлої пам'яті Василя Леонтійовича Приходька
In the blessed memory of Vasyl Prykhodko

45

47



Шановні колеги!

Завершується доволі непростий не лише для нашої держави, а й для всієї світової спільноти 2020 рік, скоро вступить у свої права Новий 2021 рік. З новим роком кожен із нас пов'язує власні надії на втілення багатьох мрій. Прийміть найщиріші вітання з **Новим роком** та **Різдвом Христовим!** Зичимо вам здоров'я, здійснення всіх бажань і надій, успіхів у ваших справах, щоб кожен день був сповнений благополуччям і мудрістю, яка допоможе здолати всі негаразди. Щастя вам, подальших професійних досягнень, миру й злагоди в сім'ї, тепла та світла у вашій оселі!

Журнал **“Мінеральні ресурси України”** розпочав свою діяльність у 1994 році й до сьогодні це стабільне друковане джерело інформації стосовно діяльності державної геологічної галузі, яким користується широке коло фахівців у галузі геології, науковців, надрокористувачів, інвесторів. На його сторінках постійно висвітлюються актуальні проблеми щодо стану мінерально-сировинної бази країни й забезпечення потреб промисловості мінеральними ресурсами, способи розв'язання стратегічних завдань геологічної галузі, сучасні науково-технічні розробки щодо прогнозування, пошуків, розвідки й видобутку різних корисних копалин, якими багата Україна, насамперед тих, що забезпечують національну безпеку держави. **Цей випуск – 100-те ювілейне видання журналу.**

“Мінеральні ресурси України” – своєрідне відображення стану геологічної галузі, символ її фаховості, наукового й інтелектуального рівня, прозорості та об'єктивності у вирішенні питань з державного регулювання надрокористування, геологічних досліджень території України.

Для багатьох користувачів надр і тих, хто має намір інвестувати в гірничодобувну промисловість, наш журнал був і є надійним джерелом потрібних даних для свідомого вибору напрямку своєї діяльності в гірничій сфері й визначення певних об'єктів для геологічного вивчення та промислового освоєння, що сприяє зміцненню економіки держави, поповненню державного бюджету.

Журнал є фаховим виданням, що має міжнародне визнання. Його внесено до міжнародних наукометричних баз: **DOAJ, EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus**. Укладено угоду з провідним агрегатором світових видань EBSCO, Publishing Inc., постачальником наукових журналів до бібліотек всесвітньовідомих університетів. У такий спосіб наукові дослідження й уся інформація щодо корисних копалин України,

опубліковані на сторінках журналу, стають відомими в усьому світі як науковцям, так і фахівцям гірничої галузі та потенційним міжнародним інвесторам.

Проте, незважаючи на високий міжнародний рівень журналу, брак фінансування поставив його існування під загрозу. Спільними зусиллями колективу редакції й головного редактора вдалося запобігти закриттю видання завдяки фінансовій підтримці небайдужих вітчизняних підприємств гірничої галузі.

Дозвольте висловити безмежну вдячність за матеріальну допомогу колективам та керівництву *Полтавського ГОКу, ПАТ “Запорізький залізорудний комбінат,”* а також авторам, які підтримали випуск журналу № 2–3 2020 р.

Дякуємо за моральну підтримку нашим колегам-науковцям, а саме колективам: *Інституту геохімії, мінералогії та рудотворення ім. М. П. Семененка (ІГМР НАН України)* та його директорів – академіку НАН України *О. М. Пономаренкові; ННІ “Інститут геології”* і його директорів – доктору геологічних наук, професорові *С. А. Вишві* та завідувачу кафедри геології родовищ корисних копалин докторові геологічних наук, професору *В. А. Михайлову; Івано-Франківському національному технічному університету нафти й газу* та ректорові – академіку НАН України, докторові технічних наук, професору *Є. І. Крижанівському; Інституту геологічних наук НАН України;* вченим: доктору геологічних наук, професорові *Д. П. Хрущову;* доктору геологічних наук, доценту *О. О. Ремезовій;* доктору геологічних наук *О. Т. Азімову;* доктору геологічних наук *Т. І. Немировській;* доктору геологічних наук *М. М. Шаталову;* доктору геологічних наук *Л. В. Ісакову* та усім читачам журналу.

Перед нами стоять складні й великі завдання, але разом ми здолаємо будь-які перешкоди на шляху розвитку мінерально-сировинної бази та зміцнення незалежності нашої держави.

З повагою –
головний редактор журналу
доктор геолого-мінералогічних наук,
доктор географічних наук, доктор технічних наук,
професор голова ДКЗ

кандидат геологічних наук

Г. І. Рудько

О. А. Лисенко

УДК 552.323.6:553.495:550.83

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.4-12>

Г. А. КАЛАШНИК, д-р геол. наук, професор (Льотна академія Національного авіаційного університету (ЛАНУ)), kalashnik_anna1@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

G. KALASHNYK, Doctor of Geological Sciences (Dr. Sci. (Geol.)), Professor (Flight Academy of National Aviation University), kalashnik_anna1@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА СУБОТСЬКІЙ СТРУКТУРІ ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

RESULTS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL RESEARCH ON THE SUBOTSKA STRUCTURE OF INHULSKYI MEGABLOCK OF THE UKRAINIAN SHIELD

Представлено результати геолого-геофізичних досліджень Суботської структури Інгульського мегаблока Українського щита. За результатами досліджень визначено, що Суботська структура вивірена породами кратерних, в окремих випадках і проявами жерлових фацій з ознаками прояву кімберліт-лампроїтового магматизму. За ступенем прояву комплексу пошукових критеріїв на Суботській ділянці виділено п'ять потенційних експлозивних структур. Розроблено рекомендації для проведення подальших досліджень у межах Суботської ділянки.

Ключові слова: експлозивні структури, мааровий вулканізм, алмазонасність, Інгульський мегаблок, Український щит.

The article presents the results of diamond prospecting studies in the Subotska structure of the Inhulskyi megablock of Ukrainian Shield. For the results, it is indicated that the Subotska structure is mimicked by crater rocks and in some cases by manifestations of the vent facies with signs of kimberlitic-lamproitic magmatism. The typical local features of manifestations of explosive structures from maar volcanism in Subotska area are determined. The article presents the results of petrographic and mineralogical study of the core material from exploratory wells on the Subotska structure, the results of study of material composition of the clay fraction, X-ray diffraction analysis of the pellet fraction. Data of the X-ray structural analysis of the pellet fraction of samples taken from the core material from exploratory wells on the Subotska structure indicates the obvious mechanical sum, the head folder of such is calciferous montmorillonite, and also saponite, nontronite, hydromica and kaolinit. The availability of the nontronite and saponite is confirmed by the results of electronic-microscopic reports. Also the article presents the results of studying the secondary lithochemical halos of Cr, Ni, Mg, Co, Ti, V, Fe, covering the geochemical spectrum inherent in alkaline-ultrabasic rocks and their weathering crust. These halos are combined with negative gravitational anomalies associated with the explosive structures in the Subotska area. The structural control of the great part of the detected geochemical anomalies, geochemical halos are determined. According to the degree of manifestation of the complex of criteria five potential diamond-prospective structures are discovered on the Subotska area. There were developed recommendations for further research on the Subotska area.

Keywords: explosive structures, maar volcanism, diamond bearing capacity, Inhulskyi megablock, the Ukrainian Shield.

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями

Прагнення України подолати економічне відставання з подальшою інтеграцією у світове співтовариство зумовлює необхідність подальшого розвитку мінерально-сировинної бази нашої держави. Прояв в Інгульському мегаблочі багатостадійного лужно-ультраосновного магматизму в платформних умовах у вигляді дайкової фації в докембрії і повторно у вигляді вибухових кратерних структур з проявами лужно-ультраосновного магматизму, які фіксуються в кратерах у вигляді вулканогенних ксенотуфобрекчій, зближує цей мегаблок з алмазонасними провінціями давніх платформ і щитів. Це дало вагомий підстави вважати Інгульський мегаблок перспективним на відкриття алмазонасних докембрійських кімберлітів і лампроїтів дайкової фації та вибухових діатрем епохи мезо-кайнозойської активізації [5]. Це стосується й розв'язання проблеми пошуку й прогнозування нетрадиційних некімберлітових джерел алмазів, пов'язаних з проявами експлозивних утворень (брекчій, туфів, флюїдизитів, лампроїтів), що є сьогодні новим пріоритетним напрямом для геологічної науки й практики [1]. Усе це спонукало до розробки системи науково обґрунтованих і практично результативних методів металогенічного прогнозування алмазонасності цього перспективного

регіону Українського щита і подальшої локалізації алмазо-перспективних структур [5].

Актуальність проведених досліджень визначається передусім необхідністю вдосконалення критеріїв і методів прогнозування та пошуку алмазонасних структур для умов центральної частини Українського щита з метою підвищення ефективності проведення геологорозвідувальних робіт, спеціалізованих на алмази, і подальшого нарощування мінерально-сировинної бази України.

Аналіз останніх публікацій

і виділення нерозв'язаної частини проблеми

Як основні передумови формування алмазонасних структур на УЩ розглядаються такі [11, 5]: 1) висока зрілість літосфери, 2) потужність літосфери не менше 150 км, яка визначає в підшві літосферного сегмента наявність умов стабільного існування графіту і алмазу, 3) граніто-гнейсовий шар високої (>15 км) або підвищеної потужності (10–15 км); 4) аномально виражена радіогеохімічна калієва спеціалізація метаморфічного субстрату верхньої частини земної кори; 5) структурний чинник – наявність розломів транслітосферного проникнення.

Виконана оцінка зональності і потенційної алмазопродуктивності сегментів літосфери Українського щита дала змогу науково обґрунтувати перспективи Інгульського мегаблока на можливість формування корінних родовищ алмазів [5–8, 11].

Для Інгульського мегаблока характерна максимальна в межах УЩ потужність літосфери, що сягає за даними глибинного сейсмондунування (ГСЗ) 250 і більше кілометрів [10]. Термобарометрія та окисні умови формування кімберлітів Інгульського мегаблока УЩ за даними діаграми РТХfO₂ [14] для ксенокритів з кімберлітів Кіровоградської площі [6, 8, 13] (Лелеківська, Щорсівська, Грузька, Лісова, Рівненська ділянки) свідчать про те, що літосфера під Інгульським мегаблоком УЩ має потужність понад 220 км (6,5 ГПа), судячи з визначень для Ст-піропів (рис. 1) [14]. У середній частині субкратонної літосферної мантиї (СКЛМ) хроміти збагачені Ті. Гіпотетичні шари і шаруватість утворені сімома горизонтами. Середній шар СКЛМ трасується Ті-хромітами та еклогітовими альмандинами (рис. 1).

Шаруватість із семи-шести пластин, визначена для Інгульського мегаблока УЩ за даними діаграми РТХfO₂, узгоджується з певною структурою для мантийних колон у центральній частині Якутії. Загалом глибина літосфери за даними РТХfO₂ в центральній частині УЩ становить понад 220 км [14]. Діаграми РТХfO₂ для Інгульського мегаблока УЩ (рис. 1) узгоджуються з геофізичними даними [10].

Інгульський мегаблок відповідно виділений глибинним передумовам і критеріям прогнозування алмазоносних структур, а також низці прямих ознак алмазоносності є єдиним літосферним сегментом на УЩ, який можна зарахувати до перспективних на виявлення промислово алмазоносних структур, незважаючи на палеопротерозойський вік стабілізації фундаменту [5].

Виконаний детальний аналіз особливостей будови й розвитку Інгульського мегаблока дає змогу підкреслити неодноразове формування мантийного діяпіру, що міститься в його підвалинах і неодноразове надходження в земну кору мантийних розплавів і флюїдів, зумовлених його активізацією. Загалом можна зробити такі висновки.

1. У межах Інгульського мегаблока Корсунь-Новоукраїнська двофазна інтрузія є короною складного глибинного утворення, у підвалинах якого міститься мантийний діяпір, і може розглядатись як гігантська осередкова структура з резервуаром частково розплавлених порід на глибині 400–200 км [9].

2. Ця структура має тривалий переривчасто-пульсаційний розвиток, що свідчить про стабільність глибинного енергетичного (теплого) джерела, яке зумовило її виникнення.

У коровій частині, окрім Корсунь-Новомиргородського й низки невеликих інтрузивів новоукраїнського і корсунь-новомиргородського комплексів, глибинні процеси проявилися на досить широкій території у вигляді дайок, трубок вибуху та флюїдизатно-експлозивних утворень.

3. Основними магмо- і флюїдопровідними каналами були зони глибинних розломів, активність яких відновлювалася різною мірою у всі постпалеопротерозойські епохи діастрофізму.

4. Лужний магматизм проявився у вигляді невеликих масивів другої субформації габро-сієнітової формації на тлі утворень корсунь-новомиргородського і новоукраїнського комплексів. Незначний його розвиток, вірогідно, зумовлений порівняно неглибоким ерозійним зрізом глибинної зональної магматичної колони.

5. В Інгульському мегаблоці простежується прояв інтенсивної флюїдизатно-експлозивної діяльності в розломних структурах з формуванням тектоно-метасоматичних зон [1].

6. В Інгульському мегаблоці виявлено кімберліти з ізотопним віком 1800 і 1770±9 млн років [13], автолітові брекчії кімберлітів нижньопалеогенового віку – у трубках вибуху в райгородській товщі.

7. Дайки лампроїтів зафіксовано в межах Русько-Полянського масиву гранітів, а на південній околиці м. Черкаси – туфоподібні породи флюїдизатно-експлозивного походження з ізотопним віком 1370 млн років [13].

Кіровоградський урановорудний район Інгульського мегаблока однозначно визначився так само як кімберлітовий район [3, 4]. Однак зарахування цього району в розряд алмазоносного мінералогічного потребує впевненого підтвердження алмазоносності виявлених кімберлітів та автолітових брекчій кімберлітів. Обсяг виконаного на цей час опробування недостатній для оцінювання рангу алмазоносності. Але загалом Інгульський мегаблок може оцінюватися як перспективний на виявлення корінних родовищ алмазів у кімберлітах і лампроїтах.

На сьогодні в північно-східній частині Інгульського мегаблока послідовно проведені спеціалізовані на алмази регіональні прогностичні роботи масштабу 1:200000, пошукові роботи на алмази масштабу 1:50000 на Лелеківському та Щорсівському кімберлітопрооявах, на дев'яти з 27 виділених алмазоперспективних експлозивних структурах. Це дозволило отримати позитивні геологічні результати [4–8].

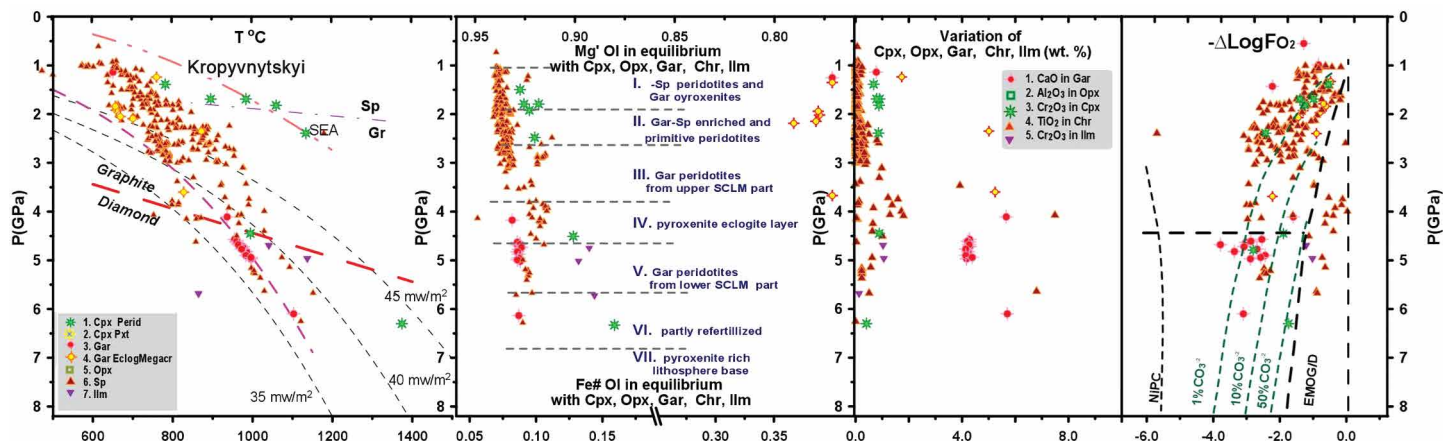


Рис. 1. Діаграма РТХfO₂ для мінералів з концентратів, що демонструє будову мантиї і шаруватість субкратонної літосферної мантиї під Інгульським мегаблоком УЩ (для ксенокритів з кімберлітів Кіровоградської площі) [14]

Символи: 1. Клінопіроксени: Т °С [19] – Р (ГПа) [15]. 2. Те саме для безхромістих клінопіроксенів. 3. Гранати: Т °С [18] – Р (ГПа) [16]. 4. Гранати з еклогітів [11, 15]. 5. Ортопіроксени: Т °С – Р (ГПа) [17]. 6. Хроміти: Т °С [18] – Р (ГПа) [17]. 7. Ільменіти: Т °С [19] – Р (ГПа) [17]

Характеристики окремих алмазоперспективних структур у межах Зеленогайської, Кіровоградської та Суботської ділянок Інгульського мегаблока УЩ свідчать про великий прояв кімберліт-лампроїтового вулканізму в районі досліджень. Прояв в Інгульському мегаблоці багатостадійного лужно-ультраосновного магматизму в платформних умовах у вигляді дайкової фації в докембрії і повторно у вигляді вибухових кратерних структур з проявами лужно-ультраосновного магматизму, які фіксуються в кратерах у вигляді вулканогенних ксенотуфобрекцій, зближує цей мегаблок з алмазонасними провінціями давніх платформ і щитів.

До прямих пошукових ознак алмазонасності в межах Інгульського мегаблока належить виявлення природних алмазів у дайках кімберлітів палеопротерозойського віку на ділянці Лелеківська та у ксенотуфобрекціях райгородської товщі нижнього палеогену на ділянках Грузька, Лісова, Північно-Оситнязька [5–8].

До пошукових критеріїв алмазонасності в Інгульському мегаблоці ми зарахували [5, 6, 8]:

1) прояви могутнього дайкового комплексу порід, представленого серією субвулканічних (діабази, трахіти) і гіпабісальних (від сублужних габроїдів до сієнітів) різновидів, які розвинені вздовж глибинних розломів північно-західного й північно-східного простягання і січуть усі відомі породи кристалічного фундаменту Інгульського мегаблока. Крайнім меланократовим членом сублужних габроїдів є сублужні пікритіоди калієвій гілки, слюдяні залізисті кімберліти, лампроїти, для яких характерна виразна порфірна структура і брекчієподібна текстура;

2) наявність ореолів тектонічних і вулканогенно-осадових брекчіюваних порід райгородської товщі нижнього палеогену, яка представлена грубобрекчіюваними породами кристалічного фундаменту на глинисто-карбонатному цементі в межах північно-східної частини Інгульського мегаблока УЩ. Ці ореоли тяжіють до південного, східного й північно-східного облямування Корсунь-Новомиргородського плутону габро-рапаківі, інтерпретуються як продукт “маарового” вулканізму;

3) поширення всередині райгородської товщі серед порід раннього палеогену локальніших ореолів уламкових порід – ксенотуфобрекцій буро-червоного кольору, що інтерпретуються як окиснені туфи “кілець викиду” вулканічних кратерів, завдяки наявності в них мінералів-індикаторів алмазу – хромшпінелей, хромдіопсидів і реліктів сапоніту в глинистій фракції цементу брекцій;

4) поєднання негативних гравіметричних аномалій близької до ізометричної форми (діаметром 0,5 км і більше) з ореолами туфобрекцій. Зазначені групи аномалій зумовлені зонами розущільнення кристалічних порід унаслідок їхнього брекчування, яке виникло в результаті експлозивних процесів.

Результати проведених за безпосередньої участі автора геолого-прогнозних і геолого-пошукових робіт на алмази впродовж багаторічної роботи в геологорозвідувальній експедиції № 37 КП “Кіровгеологія” дають змогу порушувати питання щодо необхідності продовження пошукових робіт на корінну алмазонасність у межах низки структур Інгульського мегаблока УЩ. Це зумовлено наявністю низки конкретних фактів існування сприятливих глибинних передумов, а також регіональних і локальних геолого-структурних умов з проявом основних критеріїв і прямих пошукових ознак алмазонасності.

Мета досліджень. Виявлення нових закономірностей просторового розміщення алмазоперспективних експлозивних структур на території центральної частини Українського щита та особливостей їхнього відображення в геолого-геофізичних матеріалах на прикладі Суботської структури.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети ми використовували комплекс геологічних, мінералого-геохімічних, ізотопно-геохімічних, петрологічних і структурно-геологічних методів досліджень.

Результати геолого-геофізичних досліджень

Суботської структури Інгульського мегаблока УЩ

Суботська ділянка локалізована в складному тектонічному вузлі перетину Мар’ївського регіонального розлому північно-східного простягання, Інгуло-Кам’янського розлому меридіонального простягання із субширотною Суботсько-Мошоринського зоною розломів (рис. 2). Зазначений вузол уміщує Знам’янський і Дмитрівський уран-торієві рудопрояви, що мають чималі концентрації ітрію, рідкісних земель і фіксуються аномальними геохімічними ореолами цих елементів (рис. 2).

На Суботській ділянці, розміщеній поблизу с. Суботці Знам’янського району Кіровоградської області, у зоні поширення райгородської товщі за геофізичними даними (гравірозвідка, магніторозвідка) ми виділили п’ять потенційних експлозивних структур (рис. 3).



Рис. 2. Геолого-структурна схема розміщення Суботської ділянки (з використанням геолого-формаційної основи Є. М. Лазька та ін., 1991): палеопротерозойські утворення (PR₁): 1 – метаморфізовані осадові й вулканогенно-осадові формації (інгуло-інгулецька серія (PR_{1ii})); новоукраїнський комплекс (PR_{1nu}): 2 – формація чарнокітоїдів, трахітоїдних гранітів; кіровоградський комплекс (PR_{1kg}): 3 – формація прогресивних ультраметаморфічних автохтонних і параавтохтонних гранітів; мезопротерозой (PR₂): формація анортозит-рапаківі-гранітна (корсунь-новомиргородський комплекс (PR_{2kn})): 4 – габро-анортозити, 5 – граніти рапаківі та рапаківіподібні; неопротерозойські утворення (PR₃): 6 – дайки діабазу, габро-діабазу та камптоніту; великі рудопрояви урану, що мають чималі концентрації ітрію, рідкісних земель і фіксуються аномальними геохімічними ореолами цих елементів: 7 – Знам’янський рудопрояв урану у фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах; 8 – Дмитрівський рудопрояв урану рідкісноземельно-торій-уранової формації в пегматоїдних гранітах; 9 – осьові лінії розломів: а – провідних (цифри в кружечках): 1 – Кіровоградський, 2 – Мар’ївський, 3 – Суботсько-Мошоринський, 4 – Інгуло-Кам’янський; б – другорядних, 10 – контур Суботської ділянки

За результатами гравімагнітних зйомок масштабу 1:10000 спочатку була виділена комплексна гравімагнітна аномалія трубкового типу – Суботська структура. Після проведення детальної гравімагнітної зйомки масштабу 1:5000 було уточнене положення епіцентрів гравітаційної й магнітної аномалій.

Суботська структура фіксується близькою до ізометричної форми негативною гравіаномалією інтенсивністю – 0,5 мГл (рис. 4) і ізометричною в плані позитивною магнітною аномалією інтенсивністю 113 нТл зі зсувом епіцентру в північно-західному напрямку (азимут Пн Зх 350°) на 400 м відносно епіцентру гравіаномалії (рис. 5). Просторово з ними асоціюють контрастні лінійно-вузькі гравімагнітні аномалії переривчасто-поясної будови, що позначають дайки луж-

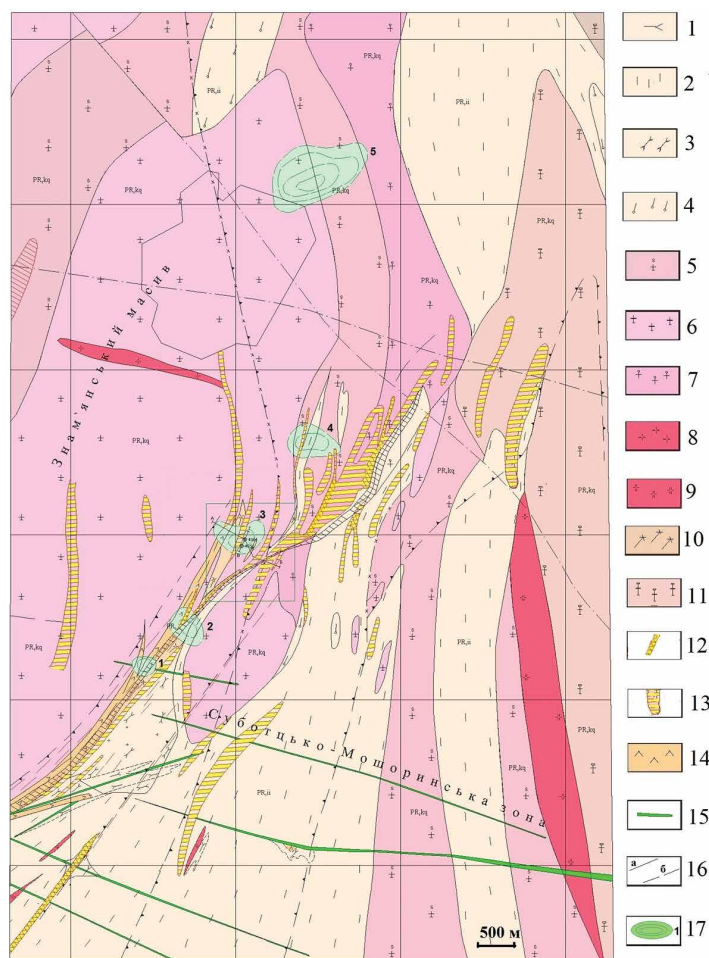


Рис. 3. Геолого-структурна карта Суботської ділянки: палеопротерозойські утворення (PR₁): інгуло-інгулецька серія (PR_{1i}): 1 – гнейси хлоритові; 2 – гнейси біотит-плагіоклазові; 3 – гнейси піроксенові; 4 – гнейси біотитові з гранатом; кіровоградський комплекс (PR_{1kg}): 5 – мігматити смугасті; 6 – граніти біотитові рівномірнотзернисті; 7 – граніти біотитові порфіробластичні; 8 – пегматити й пегматоїдні граніти; 9 – граніти апліт-пегматоїдні; 10 – гнейсотоналіти біотитові рівномірнотзернисті; 11 – гранітогнейси біотитові порфіробластичні; гідротермально-метасоматичні утворення (PR₂): 12 – альбітити й апопороди (з умістом новоутвореного альбіту 15–70 %); 13 – альбітизовані породи (новоутвореного альбіту до 15 %); 14 – мікроклін-альбітові породи; неопротерозойські утворення (PR₃): 15 – дайки діабазу, габро-діабазу та камптоніту; 16 – розломи: а – встановлені; б – передбачувані; 17 – контури від'ємних гравіаномалій трубкового типу, що контролюють потенційні експлозивні структури: 1 – Казарська, 2 – Новороманівська; 3 – Суботська, 4 – Знам'янська-Південна; 5 – Знам'янська-Північна

ноультраосновних (до 15–35 нТл) або/та основних помірно лужних порід з магнітною сприйнятливістю (до 80–170 нТл) завдовжки до десятків кілометрів.

Дайки чітко диференційовані за щільнісними й магнітними властивостями на тлі вмисних гранітів і гнейсів (рис. 3).

Розпочате буріння п'яти картувальних свердловин 1995 року (95-368, 95-369, 95-371, 95-372, 95-373) для з'ясування природи аномалій Суботської структури (рис. 6) і деталізації розрізу дало змогу підтвердити наявність на глибині 40–45 м могутньої товщі звазової брекчії на глинистому цементі (рис. 7).

Обсяг цементу становить у середньому до 80 %. В уламках – гранітоїди різного складу. Траплялися так само вивітрілі уламки дайок брудно-зеленого кольору, місцями інтенсивно отальковані й озалізовані, карбонатизовані.

Під час буріння картувальних свердловин 1999 року на глибинах понад 100 м (106,8–107,1 м; сверд. 99-95) натрапили на щільну туфобрекцію на спеченому цементі. Схожі породи виявили і у сверд. 99-94, 99-93, 99-92.

Аналіз мінералів важкої фракції відібраних проб, які були сформовані здебільшого з брекчійованої сірувато-зеленої слюдоподібної породи та вивітрілої слюдоподібної породи, показали наявність гранату (альмандину) у вигляді округлих зерен і уламків, сульфідів (переважає пірит) і видовжених довгопризматичних кристалів чорного рутилу. До того ж з-поміж

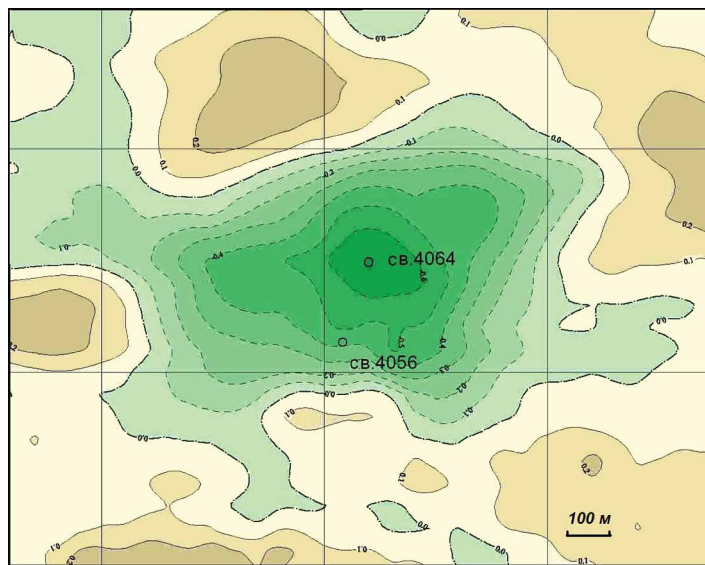


Рис. 4. Прояв Суботської структури в полі сили тяжіння

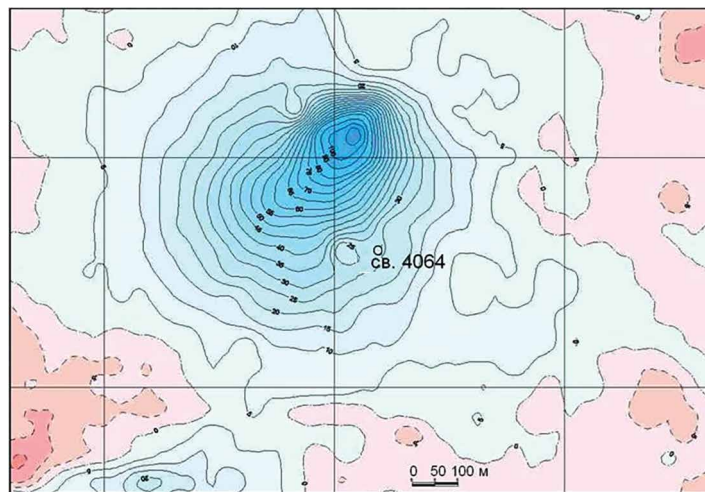


Рис. 5. Прояв Суботської структури в геомагнітному полі

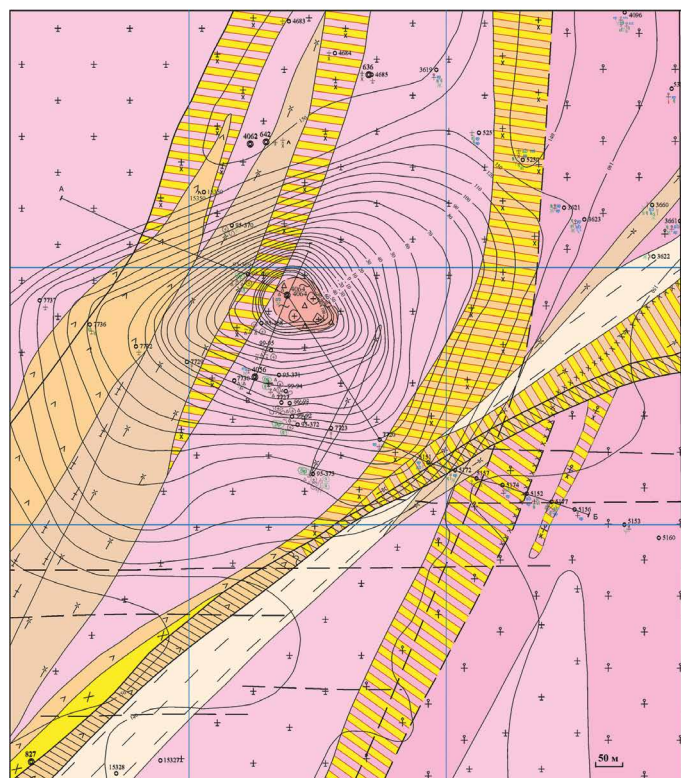


Рис. 6. Геологічна схема Суботської структури: палеопротерозойські утворення (PR₁): інгуло-інгулецька серія (PR_{1a}): 1 – гнейси біотитові нерозчленовані; 2 – гнейсотоналіти біотитові рівномірнотзернисті; 3 – гнейсогранодіорити біотитові рівномірнотзернисті; кіровоградський комплекс (PR_{1kg}): 4 – граніти біотитові рівномірнотзернисті; 5 – граніти біотитові порфіробластичні; гідротермально-метасоматичні утворення (PR_{1²}): 6 – альбітити нерозчленовані; 7 – мікроклін-альбітові породи; 8 – альбітизовані породи (новоутвореного альбіту до 15 %); породи осадового чохла, райгородські відкладення (P_{1rg}): 9 – грубоуламкова брекція (звал) по породах фундаменту на глинистому цементі; 10 – лінія побудови геологічного розрізу; 11 – розломи: а – встановлені; б – передбачувані; 12 – ізогіпси рельєфу фундаменту Суботської структури; 13 – свердловини глибокі (ГРЕ № 37, КП “Кіровгеологія”); 14 – свердловини картувальні (ГРЕ № 37, КП “Кіровгеологія”); 15 – свердловини картувальні (ГРП № 39, КП “Кіровгеологія”); 16 – свердловини глибокі (ГРП № 39, КП “Кіровгеологія”)

мінералів важкої фракції виділяються октаедри і кубо-октаедри піриту, округлі агрегати і кубооктаедри піриту, округлі агрегати піриту і марказиту.

Дані рентгеноструктурного аналізу пелітової фракції свідчать про наявну механічну суміш, головним складником якої є кальцевий монтморилоніт, а також сапоніт, нонтроніт, гідрослюда та каолініт. Наявність нонтроніту й сапоніту підтверджується резуль-

татами електронно-мікроскопічних досліджень. Водночас на мікрофотографії були ідентифіковані поодинокі, голчасті утворення галузиту.

Результати вивчення речовинного складу глинистої фракції кори вивітрювання Суботської структури представлено в таблиці.

Визначені основні петрогенні окисли повною мірою відповідають Ca-Mg монтморилоніту. Аналіз мікроелементного складу глини засвідчує досить високий уміст Co та V за малої концентрації Cr, Ni, Pb. Відсутність чималого вмісту хрому й нікелю в корах вивітрювання можна пояснити або малою

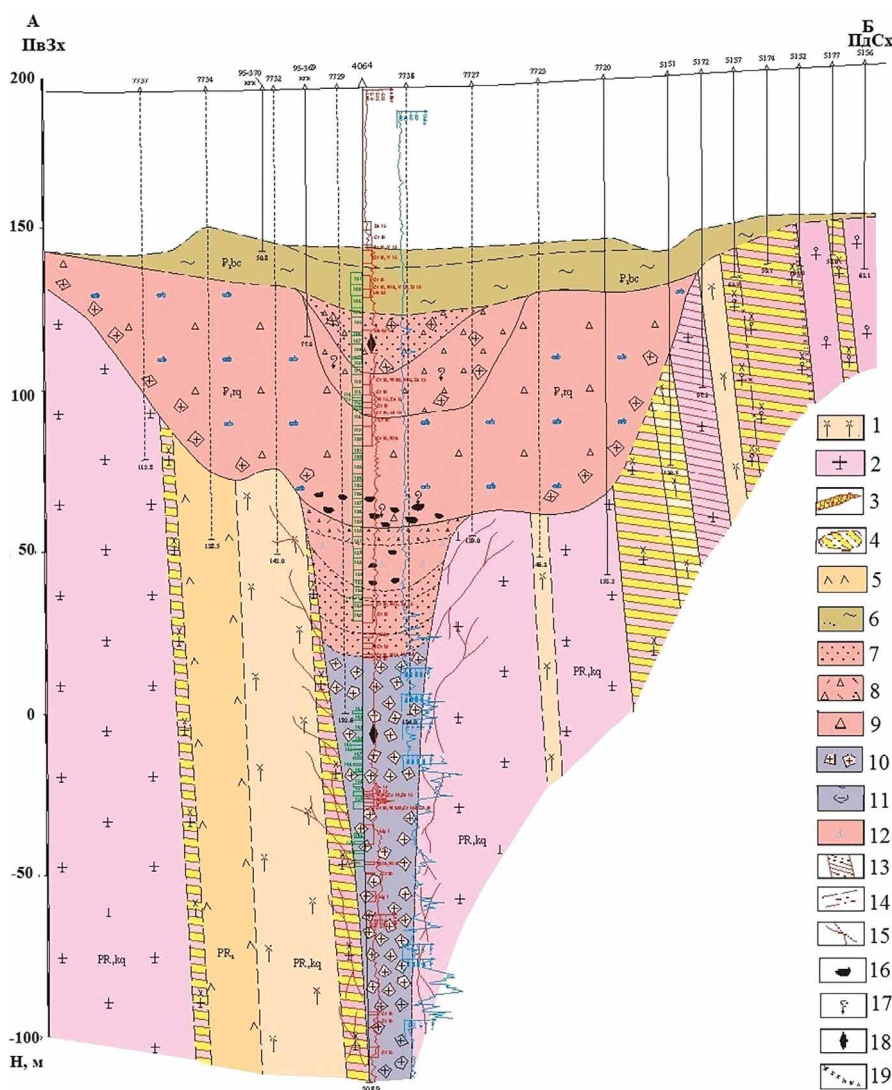


Рис. 7. Геологічний розріз по лінії А-Б (Суботська структура)

Палеопротерозойські утворення (PR₁): інгуло-інгулецька серія (PR_{1a}): 1 – гнейсотоналіти біотитові рівномірнотзернисті; кіровоградський комплекс (PR_{1kg}): 2 – граніти біотитові рівномірнотзернисті; гідротермально-метасоматичні утворення (PR_{1²}): 3 – альбітити й апороди (з умістом новоутвореного альбіту 15–70 %); 4 – альбітизовані породи (новоутвореного альбіту до 15 %); 5 – мікроклін-альбітові породи; породи осадового чохла: бучацькі відкладення (P_{2bc}): 6 – глина; райгородські відкладення (P_{1rg}): 7 – пісок грубо-зернистий; 8 – жорстково-щебенистий матеріал; 9 – дрібноуламкова брекція; 10 – грубоуламкова брекція; 11 – валуни корінних порід; 12 – уламки ультраужних порід; тектоніка: 13 – зона міліонізації, катаклазу та брекчування; 14 – розломи: а – встановлені; б – передбачувані; 15 – зона тектонічних порушень, проявлена смугою інтенсивного багатофазного дроблення порід; 16 – укралення кремню; 17 – укралення детриту; знахідки в мінералогічних пробах: 18 – зерен хромшпінелідів; 19 – зони розвитку уранового зруденіння

Таблиця. Результати хімічного та спектрального аналізів глинистої фракції кори вивітрювання Суботської структури

№ з/п	Номер свердловини	Глибина відбору	Хімічний			Спектральний							
			SiO ₂	CaO	MgO	Ti	Ni	Cr	Mn	Co	Ca	V	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	99-95	59,5	47,12	0,56	1,21	2900	47	27	110	59	21	64	16
2	99-95	66,3	47,4	1,81	3,11	2500	22	22	95	38	9,5	58	39
Спектральний													
			15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
			Yb	La	Sc	Cu	Ag	Ba	Sr	Be	Pb	Mo	Zr
3	99-95	59,5	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
4	99-95	66,3	17	8,5	25	9,6	1,6	510	320	1,0	9,8	7,4	94

Примітки. Аналізи виконано в хімічній лабораторії ІГГК НАН України. Аналітик В. І. Крижівич. Уміст окислів подано у відсотках, уміст елементів у грамах на тону.

кількістю мінералів-концентраторів цих елементів у породах ультраосновного складу, або їхнім інтенсивним спрямованим винесенням і концентрацією в інших частинах продуктів вивітрювання.

Сверд. 4056 була закладена в межах епіцентру гравітаційної аномалії Суботської структури. З глибини 40 м свердловина увійшла в ксенотуфобрекчії потужністю 189,0 м (рис. 6).

Нижче дається стислий петрографічний опис зразків керн сверд. 4056 з окремих інтервалів. Породи цих інтервалів містять продукти вторинних змін вулканічного матеріалу або майже повністю складені цими продуктами. Водночас окремі ознаки, які виявлені в шліфах дають підстави вважати, що первинний матеріал відкладався внаслідок вулканічних проявів кімберлітового або ж лампроїтового типу [12].

Особливості вивчених порід по окремих інтервалах у межах Суботської ділянки полягають у наступному (дослідження Ю. І. Федоришина, ЛНУ).

У сверд. 4056 в інтервалі 139,1–139,25 м було ідентифіковано “піщано-гравійний” туф кімберліту (лампроїту) (рис. 8) з окремими фрагментами, схожими на релікти вулканічних порід (автоліто- та лапілієподібні утворення). Рентгенографічне вивчення глинистої фракції засвідчило, що вона складена монтморилонітом, вермикулітом, гідролітою, хлоритом і серпентином і невеликою кількістю сапоніту (дослідження Ю. І. Федоришина [12]). З-поміж мінералів важкої фракції виявлено ільменіт, циркон, гранат і мінерали заліза.

Майже аналогічні породи траплялися у сверд. 4056 на глибині 142,9–143,05 м (рис. 9). Рентгенографічне вивчення глинистої фракції показало, що глиниста фракція зазнала глибоких змін, унаслідок чого виявляє слабку окристалізованість, про що свідчать невиразність і слабка інтенсивність рефлексів. З-поміж мінералів важкої фракції визначено ільменіт, циркон і гранат (дослідження Ю. І. Федоришина [12]).

На глибині 157,0–157,1 м у сверд. 4056 так само було відібрано проби “піщано-гравійних” туфів. Рентгенографічне вивчення глинистої фракції цієї проби показало, що вона представлена монтморилонітом, вермикулітом, гідролітою, хлоритом і серпентином (дослідження Ю. І. Федоришина [12]). З-поміж мінералів важкої фракції виявлено пірит, циркон і гранат.

На глибині 157,8–157,95 м у сверд. 4056 так само було відібрано проби, які належать до “піщано-гравійних” туфів (рис. 10). Рентгенографічне вивчення глинистої фракції показало, що вона зазнала глибоких змін, унаслідок чого виявляє слабку окристалізованість, про що свідчать невиразність і слабка інтенсивність рефлексів. Ситуація аналогічна інтервалу 157,0–157,1 м. З-поміж мінералів важкої фракції виявлено ільменіт, циркон, гранат, турмалін та епідот [12].

На глибині 159,9 м відібрано проби, які показують, що вони також належать до утворень вулканогенного походження. Рентгенографічне вивчення глинистої фракції показало, що вона представлена мінералами, аналогічними інтервалу 157,1 м (монтморилонітом, вермикулітом, гідролітою,



Рис. 8. Загальний вигляд “піщано-гравійного” туфу кімберліту (лампроїту) із Суботської структури (сверд. 4056, гл. 139,1–139,15 м). Ділянка Суботська, східна частина Ігульського мегаблока УЩ



Рис. 9. Загальний вигляд “піщано-гравійного” туфу кімберліту (лампроїту) із Суботської структури (сверд. 4056, гл. 142,9–143,05 м). Ділянка Суботська, східна частина Ігульського мегаблока УЩ



Рис. 10. Загальний вигляд “піщано-гравійного” туфу із Суботської структури (сверд. 4056, гл. 157,8–157,95 м). Ділянка Суботська, східна частина Ігульського мегаблока УЩ

хлоритом і серпентином) [12]. Рентгенографічне вивчення глинистої фракції показало, що глиниста фракція зазнала глибоких змін, внаслідок чого виявляє слабку окристалізованість, про що свідчать невиразність і слабка інтенсивність рефлексів [12]. Ситуація аналогічна попередньому інтервалу. З-поміж мінералів важкої фракції визначено ільменіт, циркон, гранат, турмалін та епідот.

Сверд. 4064 була закладена в епіцентрі гравіаномалії, з глибини 40 м увійшла в ксенотуфобрекції, подібні до розкритих у сверд. 4056, але більш карбонатизованих, з численними уламками ультраосновних порід брудно-зеленого кольору, місцями інтенсивно оталькованих, з украленнями карбонатів типу магнезиту (рис. 6). Цемент сірувато-зелений, слиноподібний, обсяг цементу в ксенотуфобрекціях до 80 %, в уламках – гранітоїди різного складу, дрібнозернисте амфіболове габро і вкрупнення ультраосновних порід. Сверд. 4064 була пробурена до глибини 308,2 м. Зупинена в зоні інтенсивного дроблення, катаклазу і тріщинуватості по біотитових гранітах.

Рентгенографічне вивчення глинистої фракції “піщано-гравійних” туфів у сверд. 4064 (міститься в 100 м від устя сверд. 4056) з глибин 139,1, 157,1, 159,9 м показало, що вона складається на монтморилонітом, вермикулітом, гідрослюдою, хлоритом, серпентином і невеликою кількістю сапоніту. Дані рентгеноструктурного аналізу пелітової фракції свідчили про наявну механічну суміш, головним складником якої є кальцієвий монтморилоніт, а також сапоніт, нонтроніт, гідрослюда та каолінит. Наявність нонтроніту й сапоніту була підтверджена результатами електронно-мікроскопічних досліджень [12]. З-поміж мінералів важкої фракції визначено ільменіт, циркон, гранат і мінерали заліза [12].

У немагнітній фракції концентратів проб сверд. 4056 класу величини -02 мм у пробах з глибин 142,3–147,4 м, 155,5–176,0 м встановлені хромшпінеліди, діагностовані методом фотодіагностики як хромпикотити. У пробі № 81 (гл. 151,4 м) виявлено олівін, представлений форстеритом.

У сверд. 4064 у пробах № 108 (77,6–81,2 м), № 144 (203,1–204,1 м) діагностовано кристали хромшпінелідів

класу величини -02 мм. Майже у всіх мінералогічних пробах сверд. 4064 виявлено рутилі.

Отже, за результатами петрографо-мінералогічного вивчення керна матеріалу пошукових свердловин на Суботській структурі було визначено ознаки наявності вулканічного матеріалу, який зазнав інтенсивних змін. Найпоширенішими є породи типу “піщаних” і “піщано-гравійних” туфів. Зазначені різновиди є характерними для кратерної фації та можуть належати до позакратерних викидів.

На Суботській ділянці головні індикатори ультраосновних лужних порід – нікель, магній і хром формують над Суботською структурою ореоли підвищених умістів з формою, близькою до форми гравіаномалії, що має пошуковий інтерес з епіцентром у районі передбачуваного жерла експлозивного апарату (рис. 11).

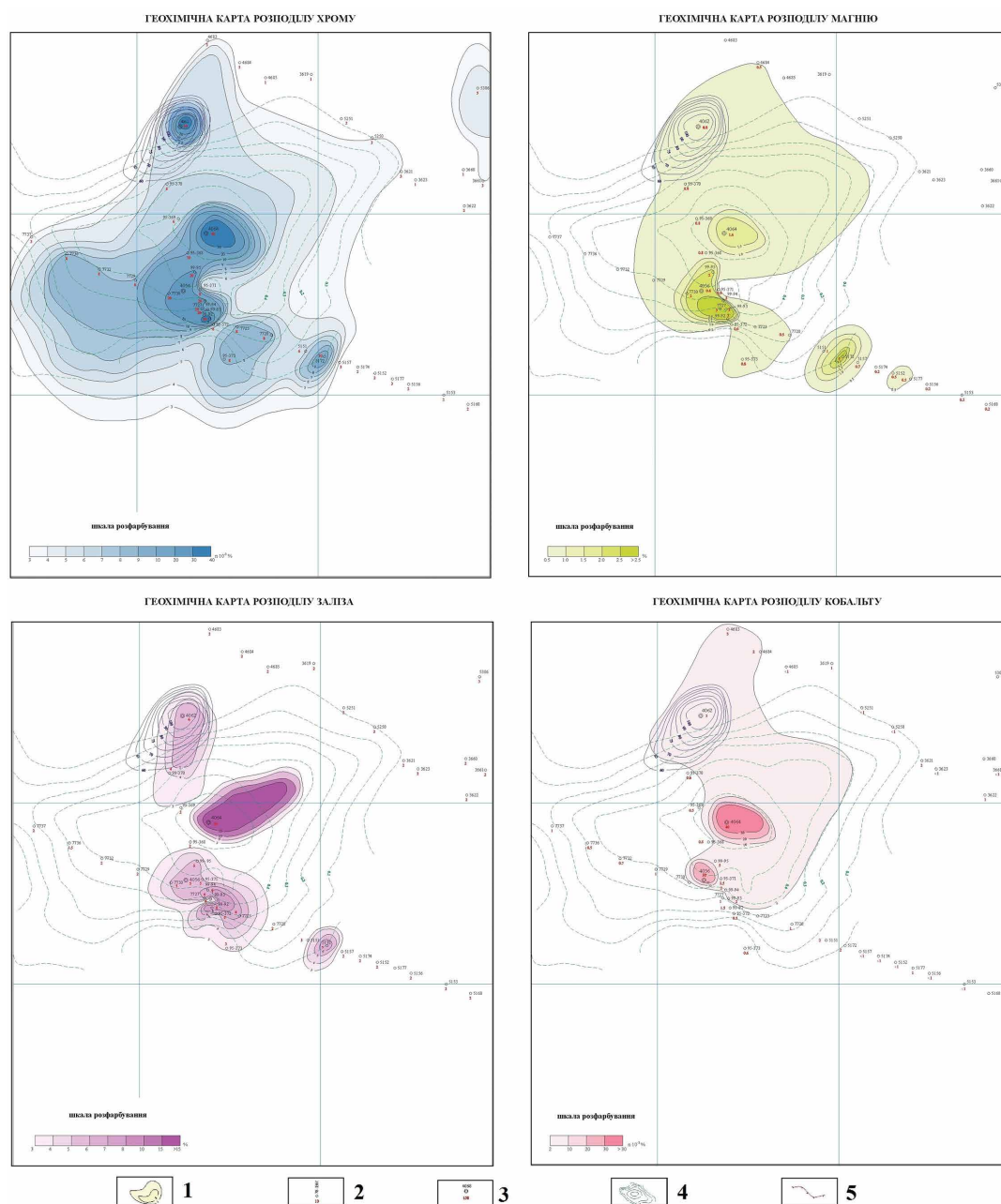


Рис. 11. Геохімічна карта розподілу хрому (Cr, $p \cdot 10^{-3}\%$), магнію (Mg, $p \%$), заліза (Fe, $p \%$), кобальту (Co, $p \cdot 10^{-3}\%$) на Суботській структурі

1 – ізолінії вмісту елемента; 2 – свердловини картувальні, у знаменнику – уміст елемента; 3 – свердловини глибокі, у знаменнику – уміст елемента; 4 – контури від’ємних гравіаномалій трубкового типу, що контролюють експлозивні структури; 5 – ділянка поширення ксенотуфобрекцій

Розподіл і вміст міді, що характеризуються високими значеннями в кімберлітах і їхніх екзоконтактах, так само дають змогу оконтурити епіцентр передбачуваного жерла. Але найбільше контрастно передбачуване жерло фіксується ореолом мультиплікативного показника $Cr \times Mg \times Fe$ (рис. 12).

Контрастність геохімічних аномалій основних елементів-індикаторів (Cr, Ni, Mg, Fe), особливо їхнього мультиплікативного показника $Cr \times Mg \times Fe$ (рис. 11), є притаманною для кімберлітів і лампроїтів Інгільського мегаблока УЩ і не є властивою для вміщувальних гранітогнейсів.

Висновки та основні напрями подальших досліджень

Розроблення критеріїв виділення алмазоперспективних структур на ґрунті аналізу фізичних полів, супроводжува-

на аналізом прямих ознак і критеріїв алмазоносності, дала змогу визначити п'ять потенційних локальних експлозивних структур мезо-кайнозойського етапу активізації глибинних розломів: Казарську, Новороманівську, Суботську, Знам'янську-Південну, Знам'янську-Північну. Нині тільки одна з них – Суботська вивчена бурінням. За результатами петрографо-мінералогічного вивчення керна матеріалу свердловин, пробурених на Суботській структурі, було встановлено ознаки наявності вулканічного матеріалу, який зазнав інтенсивних змін, але з великою ймовірністю належить кімберлітам, а можливо і лампроїтам. Найпоширенішими в кернах матеріалі є породи типу “піщаних” і “піщано-гравійних” туфів. Зазначені різновиди є характерними для кратерної фації та можуть належати до позакратерних викидів.

З від'ємними гравітаційними аномаліями, пов'язаними з експлозивними структурами Суботської ділянки, суміщені вторинні літохімічні ореоли розсіювання Cr, Ni, Mg, Co, Ti, V, Fe, що охоплюють геохімічний спектр, властивий лужноультраосновним породам та їхній корі вивітрювання. Морфологія ізоліній розподілу цих металів у залишкових ореолах чітко корельована із зоною поширення кратерних брекчій експлозивних структур ділянки Суботська.

Суботська ділянка потребує подальшого дослідження алмазоперспективності глибоким бурінням у межах усіх п'яти виділених в її межах локальних експлозивних структур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алмазоносные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы (Опыт минерализации алмаза)/Под ред. Г. М. Яценко, Д. С. Гурского. – Киев: УкрГГРИ, 2002. – 331 с.
2. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой/Н. П. Щербак, Г. В. Артеменко, И. М. Лесная, А. Н. Пономаренко – Київ: Наукова думка, 2008. – 240 с.
3. Калашиник А. А. Закономерности формирования урановорудных метасоматитов в связи с особенностями глубинного строения литосферы Украинского щита/А. А. Калашиник// Вісник Київського нац. університету. Сер. Геологія. – 2016. – № 3. – Т. 74. – С. 51–57.
4. Калашиник Г. А. Основні результати геолого-геофізичних

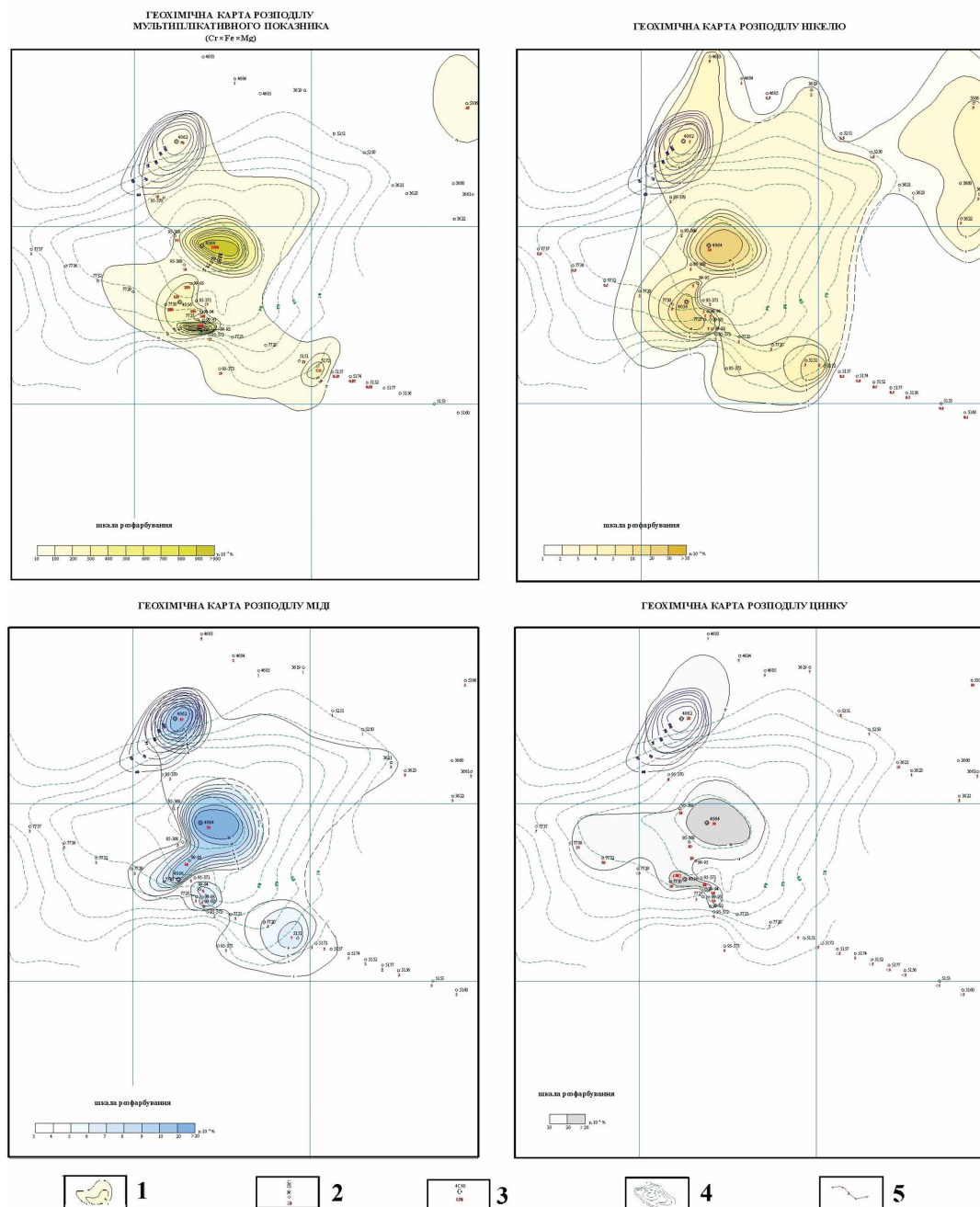


Рис. 12. Геохімічна карта розподілу мультиплікативного показника ($Cr \times Mg \times Fe$, $n \cdot 10^{-1} \%$), нікелю (Ni, $n \cdot 10^{-1} \%$), міді (Cu, $n \cdot 10^{-1} \%$), цинку (Zn, $n \cdot 10^{-1} \%$) на Суботській структурі

1 – ізолінії вмісту елемента; 2 – свердловини картувальні, у знаменнику – вміст елемента; 3 – свердловини глибокі, у знаменнику – вміст елемента; 4 – контури від'ємних гравітаційних аномалій трубкового типу, що контролюють експлозивні структури; 5 – ділянка поширення ксенотуфобрекчій

досліджень на Зеленогайській структурі Інгульського мегаблока Українського щита/Г. А. Калашник//Мінеральні ресурси України. – 2017. – № 3. – С. 3–11.

5. Калашник А. А. Предпосылки формирования и критерии прогнозирования алмазоносных структур на Украинском щите/А. А. Калашник, Ю. И. Федоришин, А. В. Кузьмин, Н. Н. Кирьянов//Научный вестник НГУ. – 2016. – № 6. – С. 22–40.

6. Калашник Г. А. Перспективи Кіровоградського блока УЩ на виявлення алмазоносних кимберлітів та лампроїтів/Г. А. Калашник, О. Ф. Маківчук, О. Ю. Палкіна, О. Я. Хренов//Мінеральні ресурси України. – 2010. – № 1. – С. 18–23.

7. Калашник А. А. Алмазоперспективные структуры Ингульского мегаблока Украинского щита/А. А. Калашник, Н. Н. Кирьянов, Е. Ю. Палкина//Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2013. – Т. 10. – Ч. II. – С. 39–48.

8. Калашник А. А. Результаты поисковых работ по выявлению алмазоносных объектов в северо-восточной части Кіровоградського блока УЩ/А. А. Калашник, Е. Ю. Палкіна, О. Ф. Маківчук, Н. Н. Кирьянов, А. Я. Хренов//Зб. наукових праць УкрДГРІ. – 2010. – № 3–4. – С. 44–60.

9. Оровецкий Ю. П. Горячие пояса Земли: Монография//Ю. П. Оровецкий, В. П. Коболев.; НАН Украины. Ин-т геофизики им. С. И. Субботина. – Київ: Наукова думка, 2006. – 312 с.

10. Соллогуб В. Б. Литосфера Украины/Соллогуб В. Б. – К.: Наукова думка, 1986. – 184 с.

11. Федоришин Ю. І. Модель прогнозу та пошуків джерел корінної алмазоносності і її реалізація на території Українського щита: дис. д-ра геол. наук: 04.00.01/Юрій Іванович Федоришин. – К., 2007. – 408 с.

12. Федорішин Ю. І. Проведення морфоструктурного аналізу поверхні кристалічного фундаменту ділянки Грузька та результати петрографічно-мінералогічних досліджень керна свердловин 4051, 4052, 4053, 4054, 4055, 4056, 4064, 4061, 4067. Звіт про виконану роботу з наукового супроводження. – К.: Дослідницький центр МОНУ, 2007. – 58 с.

13. Цымбал С. Н. Ксенолиты глубинных пород из кимберлитов Кіровоградського геоблока (Український щит)/С. Н. Цымбал, С. Г. Кривдик//Мінерал. журн. – 1999. – Т. 21, № 2–3. – С. 97–111.

14. Ashchepkov I. V., Downes H., Khmelnikova O. S. Incompatible element-enriched mantle lithosphere beneath kimberlitic pipes in Priazov'ie, Ukrainian shield: volatile-enriched focused melt flow and connection to mature crust?//International Geology Review. – Vol. 62. – 10 June 2020. – P. 1–22.

15. Ashchepkov I. V., Ntaffos T., Logvinova A. M., Spetsius Z. V., Downes H., Vladyskin N. V. 2017. Monomineral universal clinopyroxene and garnet barometers for peridotitic, eclogitic and basaltic systems. Geoscience Frontiers, 8, pp. 775–795.

16. Ashchepkov I. V., Logvinova A. M., Ntaffos T., Vladyskin N. V., Kostrovitsky S. I., Spetsius Z., Mityukhin S. I., Prokopyev S. A., Medvedev N. S., Downes H. 2017. Alakit and Daldyn kimberlite fields, Siberia, Russia: two types of mantle sub-terranes beneath central Yakutia? Geoscience Frontiers, 8, pp. 671–692.

17. Ashchepkov I. V., Pokhilenko N. P., Vladyskin N. V., Logvinova A. M., Kostrovitsky S. I., Afanasiev V. P., Pokhilenko L. N., Kuligin S. S., Malygina L. V., Alymova N. V., Khmelnikova O. S., Palessky S. V., Nikolaeva I. V., Karpenko M. A., Stagnitsky Y. B. 2010. Structure and evolution of the lithospheric mantle beneath Siberian craton, thermobarometric study. Tectonophysics 485, pp. 17–41.

18. O'Neill H. St. C., Wood B. J. 1979. An experimental study of Fe-Mg-partitioning between garnet and olivine and its calibration as a geothermometer. Contributions to mineralogy and Petrology 70, pp. 59–70.

19. Taylor W. R., Kammerman M., Hamilton R. 1998. New thermometer and oxygen fugacity sensor calibrations for ilmenite and chromium spinel-bearing peridotitic assemblages. 7th International Kimberlite Conference. Extended abstracts. Cape Town, 891–901.

REFERENCES

1. Diamond-bearing formations and structures of the southwestern margin of the East European platform (Experience of diamond mining)/Ed. G. M. Yacenko, D. S. Gurskij. – Kiev: UkrDHRI, 2002. – 331 p. (In Russian).

2. Geochronology of Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic/N. P. Shherbak, G. V. Artemenko, I. M. Lesnaja, A. N. Ponomarenko. – Kyiv: Naukova dumka, 2008. – 240 p. (In Russian).

3. Kalashnik A. A. Patterns of uranium ore metasomatites localization in association with features of the Ukrainian Shield lithosphere's deep structure//Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu. Seriya. Heolohia. – 2016. – № 3. – V. 74. – P. 51–57. (In Russian).

4. Kalashnyk G. A. The main results of geological and geophysical research on the Zelenogayska structure of the Ingulsky megablock of Ukrainian Shield//Mineralni resursy Ukrainy. – 2017. – № 3. – P. 3–11. (In Ukrainian).

5. Kalashnyk A. A., Fedorishin Yu. I., Kuzmin A. V., Kiryanov N. N. Preconditions of formation and criteria for prognostications of diamondiferous structures on the Ukrainian Shield//Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2016. – № 6. – P. 22–40. (In Russian).

6. Kalashnyk G. A., Makivchuk O. F., Palkina O. Yu., Khrenov O. Ya. Perspectives of diamond productivity of the territory of Kirovohrad megablock of Ukrainian Shield on results of works by SI "Kirovgeology"//Mineralni resursy Ukrainy. – 2010. – № 1. – P. 18–23. (In Ukrainian).

7. Kalashnik A. A., Kiryanov N. N., Palkina E. Yu. Diamondiferous structures of the Ingulsky megablock of the Ukrainian Shield//Pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy. – 2013. – V. 10. – P. II. – P. 39–48. (In Russian).

8. Kalashnik A. A., Palkina E. Ju., Makivchuk O. F., Kiryanov N. N., Hrenov A. Ja. The results of prospecting of diamond-bearing structures within the north-east part of the Kirovograd block of Ukrainian Shield//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2010. – № 3–4. – P. 44–60. (In Russian).

9. Oroveckij Yu. P., Kobolev V. P. Hot belts of the Earth: Monograph. NAS of Ukraine. Institute of Geophysics named S. I. Subbotin. – Kyiv: Naukova dumka, 2006. – 312 p. (In Russian).

10. Sollogub V. B. Lithosphere of the Ukraine. – Kyiv: Naukova dumka, 1986. – 184 p. (In Russian).

11. Fedoryshyn Yu. I. Model of forecast and prospecting of primary diamondiferous sources and its realization in the Ukrainian Shield: dys. doktora heol. nauk: 04.00.01 – Kyiv, 2007. – 408 p. (In Ukrainian).

12. Fedoryshyn Yu. I. The results of morphostructural analysis of the surface of the crystalline basement of the Gruzka site and the results of petrographic and mineralogical studies of the well core 4051, 4052, 4053, 4054, 4055, 4056, 4064, 4061, 4067. Report on research work. – Kyiv: Doslidnytskyi tsentr MONU, 2007. – 58 p. (In Ukrainian).

13. Cymbal S. N., Krivdik S. G. Xenoliths of deep rocks from kimberlites of the Kirovograd geoblock (Ukrainian shield)//Mineral. zhurnal. – 1999. – V. 21. – № 2–3. – P. 97–111. (In Russian).

14. Ashchepkov I. V., Vladyskin N. V., Kalashnyk H. A., Medvedev N. S., Saprykin A. I., Downes H., Khmelnikova O. S. Incompatible element-enriched mantle lithosphere beneath kimberlitic pipes in Priazov'ie, Ukrainian shield: volatile-enriched focused melt flow and connection to mature crust?//International Geology Review. – Vol. 62. – 10 June 2020. – P. 1–22.

15. Ashchepkov I. V., Ntaffos T., Logvinova A. M., Spetsius Z. V., Downes H., Vladyskin N. V. 2017. Monomineral universal clinopyroxene and garnet barometers for peridotitic, eclogitic and basaltic systems. Geoscience Frontiers, 8, pp. 775–795.

16. Ashchepkov I. V., Logvinova A. M., Ntaffos T., Vladyskin N. V., Kostrovitsky S. I., Spetsius Z., Mityukhin S. I., Prokopyev S. A., Medvedev N. S., Downes H. 2017. Alakit and Daldyn kimberlite fields, Siberia, Russia: two types of mantle sub-terranes beneath central Yakutia? Geoscience Frontiers, 8, pp. 671–692.

17. Ashchepkov I. V., Pokhilenko N. P., Vladyskin N. V., Logvinova A. M., Kostrovitsky S. I., Afanasiev V. P., Pokhilenko L. N., Kuligin S. S., Malygina L. V., Alymova N. V., Khmelnikova O. S., Palessky S. V., Nikolaeva I. V., Karpenko M. A., Stagnitsky Y. B. 2010. Structure and evolution of the lithospheric mantle beneath Siberian craton, thermobarometric study. Tectonophysics 485, 17–41.

18. O'Neill H. St. C., Wood B. J. 1979. An experimental study of Fe-Mg-partitioning between garnet and olivine and its calibration as a geothermometer. Contributions to mineralogy and Petrology 70, 59–70.

19. Taylor W. R., Kammerman M., Hamilton R. 1998. New thermometer and oxygen fugacity sensor calibrations for ilmenite and chromium spinel-bearing peridotitic assemblages. 7th International Kimberlite Conference. Extended abstracts. Cape Town, 891–901.

Рукопис отримано 9.09.2020.

УДК 553.99(477)

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.13-17>

У. З. НАУМЕНКО, канд. геол. наук, старший науковий співробітник відділу корисних копалин (Інститут геологічних наук Національної академії наук України), <https://orcid.org/0000-0001-9420-4044>, uznaum@gmail.com,

В. М. МАЦУЙ, канд. геол.-мінерал. наук, старший науковий співробітник відділу геології корисних копалин (Інститут геологічних наук Національної академії наук України), <https://orcid.org/0000-0002-1971-4228>

U. NAUMENKO, PhD (Geol.), Senior Research Scientist, Department of Mineral Geology (Institute of Geological Sciences National Academy of Sciences of Ukraine), <https://orcid.org/0000-0001-9420-4044>, uznaum@gmail.com,

V. MATSUI, PhD (Geol.), Senior Research Scientist, Department of Mineral Geology (Institute of Geological Sciences National Academy of Sciences of Ukraine), <https://orcid.org/0000-0002-1971-4228>

КАРТА ВИКОПНИХ СМОЛ УКРАЇНИ

MAP OF FOSSIL RESINS OF UKRAINE

З'ясування умов геологічного минулого, за яких відбувалася фосилізація смоляних виділень і накопичення первинних біогенно-осадових покладів протобурштину й формування розсіпів бурштину-сукциніту в морському середовищі, є важливою ланкою наукових досліджень. Недостатня вивченість бурштину-сукциніту як некрystalічного органічного утворення, що пройшов складний шлях переходу з живої природи в мінеральну, призводить до нерационального пошуку, видобутку й використання такої цінної сировини.

Автори ґрунтовно систематизували накопичені знання про бурштин-сукциніт та інші мінеральні різновиди викопних смол України й усієї Балтійсько-Дніпровської бурштиноносною провінції.

У статті розглянуто засади створення нової карти викопних смол України. Окрім ілюстрації відомих бурштиноносних зон, покладів і проявів бурштину, карта має палеогеографічне, геологічне й прогнозне значення, що тісно пов'язане з формуванням як вторинних розсіпів бурштину-сукциніту, так і первинних біогенно-осадових покладів – смоляних тіл перехідного складу в першій половині середнього еоцену (бучацький час).

З метою вироблення обґрунтованого прогнозування родовищ, автори визначили корінне першоджерело розсіпів бурштину-сукциніту, яке представлено біогенно-осадовими покладами смоляних виділень. Ці поклади були сформовані в нижній половині середнього еоцену в бучацький час на суходолі Українського щита (УЩ), найчастіше в межах заболочених акумулятивних депресій, які пов'язані з давніми розломами й структурно-тектонічними пастками. З'ясовано умови геологічного минулого, за яких відбувалася фосилізація смоляних виділень і накопичення первинних біогенно-осадових покладів протобурштину, формування корінних розсіпів бурштину-сукциніту, перших проміжних колекторів у прибережно-морських, лиманно-дельтових умовах, а також у глибоководних частинах палеошельфу.

Автори підготували прогнозні висновки про можливість виявлення нових площ, перспективних на відкриття промислових родовищ найціннішого різновиду викопних смол – бурштину-сукциніту.

Ключові слова: викопні смоли, бурштин-сукциніт, карта викопних смол, фосилізація, Україна, поклади.

Finding out the conditions of the geological past under which tar secretions were fossilised and primary bio-sedimentary deposits of protoamber were accumulated and amber-succinite placers formed in the marine environment is an important link in scientific research. Insufficient study of amber-succinite as an organic formation, which has gone through a difficult path of transition from wildlife to minerals, leads to irrational use and search for such valuable raw materials and its extraction is much less beneficial than planned.

The authors have carried out a comprehensive systematization of accumulated knowledge on amber-succinite and other mineral types of mineral resins in Ukraine and the entire Baltic-Dnipro amber province.

The article discusses the creation of a new map of mineral fossil resins in Ukraine. In addition to the known amber-bearing zones, deposits and occurrences of amber, the map carries paleogeological and predicted loads, is closely related to the formation of both secondary placers of amber-succinite and primary biogenic-sedimentary deposits – resin bodies, transitional composition in the first half of the Middle Eocene (Buchakian time).

In order to develop a reasonable forecast of the deposits, the authors identified the root source of amber-succinite placers, which is represented by biogenic-sedimentary deposits of resin bodies. These deposits were formed in the Lower Middle Eocene during the Buchakian time on land of the Ukrainian Shield, most often within swampy accumulative depressions associated with ancient faults and structural tectonic traps. The conditions of the geological past, under which tar secretions were fossilized and primary biogenic-sedimentary deposits of the protoamber were accumulated, as well as the formation of amber-succinite placers, the first intermediate collectors in the coastal-marine, liman delta and deep-water parts of the paleoshelf, have been clarified.

The work carried out by the authors resulted in predicted conclusions about the possibility of finding new areas promising for the discovery of industrial deposits of the most valuable type of fossil resins – amber succinite.

Keywords: fossil resins, succinite, map of fossil resins, fossilization, Ukraine, deposits.

Вступ. Основою для створення карти викопних смол України (масштаб 1:2 500 000) слугували польові геологічні дослідження бурштиновмісцевих відкладів верхнього кайнозою України, аналіз матеріалів геологознімальних і пошукових робіт та великої кількості наукової літератури з геології розсіпів, зокрема бурштину-сукциніту й інших мінеральних різновидів викопних смол Європи, Азії тощо.

Першу оглядову карту бурштиноносності України масштабу 1:5 000 000, яка підбила підсумки геологічного вивчення бурштину на початку ХХІ століття, уклали В. М. Мацуй 2007 року.

Вона пройшла апробацію на Міжнародній науково-практичній конференції “Український бурштиновий світ” у 2008 році [8]. Головний принцип побудови карти – приуроченість встановлених розсіпів мінеральних різновидів викопних смол до тих чи інших геоструктурних елементів України. На карті позначено площі залягання бурштинопроявів і випадкових знахідок, а також два освоєвані на той час родовища – Клесівське й Вільне, розміщені на території Рівненської області.

За 12 років після виходу у світ першої оглядової карти бурштиноносності регіону вся легальна й переважно негальна розробки родовищ і бурштинопроявів зосередилися винятково в Прип'ятському басейні (північно-західні схили

УЩ) у північних районах Волинської, Рівненської та Житомирської областей, де бурштин залягає неглибоко від денної поверхні (від 2 до 10–20 м). Ейфорія незаконного видобутку бурштину-сукциніту в Прип'ятському басейні призвела до втрати величезної кількості найціннішого самоцвіту та серйозних змін ґрунтового покриву й деревної рослинності Українського Полісся, геологічної структури території, що добре простежується на сучасних аерокосмічних знімках.

Водночас потенційно перспективні площі східних і південно-західних схилів УЩ дають змогу прогнозувати великі ресурси якісного бурштину-сукциніту, що нині не вивчаються в потрібному обсязі. Це й визначає мету авторських досліджень з подальшим складанням карти викопних смол.

Мета створення карти викопних смол України, окрім ілюстрації виявлених в Україні бурштиноносних басейнів і перспективних на бурштин зон, родовищ і проявів, полягає в розробленні наукової основи прогнозування й пошуків різних мінеральних типів викопних смол, з'ясуванні умов їхнього утворення, а також встановленні зв'язку з уміщувальними й підстильними породами, геологічними структурами та сучасним рельєфом. Карта має палеогеологічне й прогнозне навантаження, що тісно пов'язане з формуванням як вторинних розсипів бурштину-сукциніту, так і первинних біогенно-осадових покладів протобурштину. Унаслідок розмиття останніх наприкінці середнього й у пізньому еоцені – ранньому олігоцені протобурштин переносився річковими водами та іншими агентами денудації в морський басейн, у якому під час формування прибережно-морських, лиманно-дельтових і морських розсипів перших проміжних колекторів він набув усіх головних ознак і особливостей бурштину-сукциніту [1–7]. З проведених досліджень можна зробити прогнозний висновок, що корінним першоджерелом розсипів бурштину-сукциніту можуть бути тільки буцацькі біогенно-осадові поклади.

Окреслені наукові проблеми автори розв'язують у межах пріоритетних досліджень Інституту геологічних наук НАН України за темою: “Вивчення закономірностей формування і прогнозна оцінка бурштинових покладів України” та міжнародних українсько-польських проектних робіт 2015–2020 рр. Останні продовжено на період 2021–2023 рр. за темою: “Comparative characteristics of amber deposits in Ukraine and Poland”.

Основні дослідження і публікації. У процесі наукових досліджень автори проаналізували численний фактичний матеріал з геології бурштину України й суміжних регіонів, починаючи з вивчення археологічних розкопок пізньопалеолітичних поселень давніх мисливців, у яких виявлено бурштин, і перших уривчастих відомостей про знахідки бурштину та спроб наукового узагальнення (А. Ржончинський (1736), А. С. Рогович (1873), В. Г. Бродович (1899), А. Гедройц (1886), М. Соколов (1893), Ф. Кеппен (1899), П. Г. Михайловський (1903), Б. Б. Антонович (1895)).

Особливу увагу привернули праці П. А. Тутковського (1893, 1903, 1911, 1913, 1918, 1920 тощо), які не втратили наукового й практичного значення до наших днів. Великий обсяг інформації проаналізовано за науковими публікаціями, що висвітлюють геологічну будову регіону. Зокрема, генезис і стратиграфічне положення продуктивних бурштинових горизонтів досліджували А. Є. Ферсман (1925, 1962), П. І. Василенко (1929, 1933), Н. А. Орлова, В. А. Успенський (1936), І. Г. Підоплічко, Є. Н. Кондратюк (1955), А. М. Маринич, О. О. Рожко (1964), С. С. Савкевич (1966, 1970, 1971,

1983 та ін.), Ю. В. Семенченко (1966), Ю. В. Семенченко, Т. Н. Агафонова та ін. (1974), В. І. Катінас (1971), В. С. Трофимов (1974, 1978 та ін.), А. І. Серебрицький (1979), Б. І. Сребродольський (1980), В. Ю. Зосимович, Е. Б. Савронь, А. Б. Стотланд (1987), В. М. Мацуї (1999) та ін. У ці роки серед українських учених усталилася думка про те, що розсипи бурштину-сукциніту в Україні мають переважно місцеве походження. Невичерпний матеріал для узагальнення перспектив бурштиноносності України (дані з геології, стратиграфії, палеогеографії, генезису й прогнозування викопних смол) отримано внаслідок інтенсифікації видобутку бурштину в період промислових досліджень, які в 1978 р. розпочало ВО “Західкварцсамоцвіти” і продовжила Рівненська ГРЕ, під час планових геологорозвідувальних робіт, наукових досліджень академічних і навчальних закладів України (Ю. В. Семенченко, Т. Н. Агафонова та ін. (1974), В. М. Мацуї, В. А. Нестеровський (1995), В. М. Мацуї (2016), Г. І. Рудько, С. Ф. Литвинюк (2017), В. Г. Мельничук, М. В. Криницька (2018), В. Панченко, К. І. Деревська, В. Я. Яковлев (2018), У. З. Науменко (2019)), а також завдяки серії статей, опублікованих у наукових журналах і збірниках праць за матеріалами конференцій [12].

Аналіз опублікованих матеріалів дає змогу констатувати стійку динаміку збільшення рівня знань про геологію викопних смол (ВС) України за останні десятиліття, що й відображено на карті викопних смол України.

Викладення основного змісту. За геологічною будовою, історією накопичення й фосилізації смоляних виділень, типами родовищ і проявів, їхнім віком і поширенням у природі на карті викопних смол України (рис. 1) позначено:

- південно-східну частину Балтійсько-Дніпровської провінції розсипів бурштину-сукциніту;
- Карпатську провінцію викопних смол, що охоплює разом з територією Польщі північно-східне продовження румунського ареалу викопних смол;
- площу накопичення первинних біогенно-осадових залягань смоляних виділень, що відповідає площі УЩ з прилеглими територіями (корінне першоджерело розсипів викопних смол);
- області поширення кварц-глауконітових, потенційно перспективних еоцен-олігоценових бурштиноносних формацій.

Балтійсько-Дніпровська провінція бурштину-сукциніту — єдине джерело й постачальник найціннішого самоцвіту на світовий ринок (рис. 2).

У межах України виокремлено два великі бурштиноносні райони: Прип'ятський і Дніпровський басейни. Бурштиноносність цих басейнів пов'язана лише з прибережно-морськими й лиманно-дельтовими осадами переважно межигірської світи нижнього олігоцену, у яких уміст корисного компонента набагато поступається найбільшим у світі родовищам Самбії.

Постмежигірські континентальні розсипи характеризуються низькою концентрацією бурштину. Він трапляється в берецькому й новопетрівському горизонтах полтавської серії верхнього олігоцену, у неогені та антропогені. Унаслідок багаторазового перемивання й перевідкладення палеоген-неогенових розсипів антропогені містять найякісніші екземпляри бурштину, що становлять неабиякий інтерес для ювелірної промисловості. У розрізі антропогену ці розсипи найчастіше пов'язані із завадівським горизонтом середнього неоплейстоцену та сучасним русловим і заплавним алювієм.

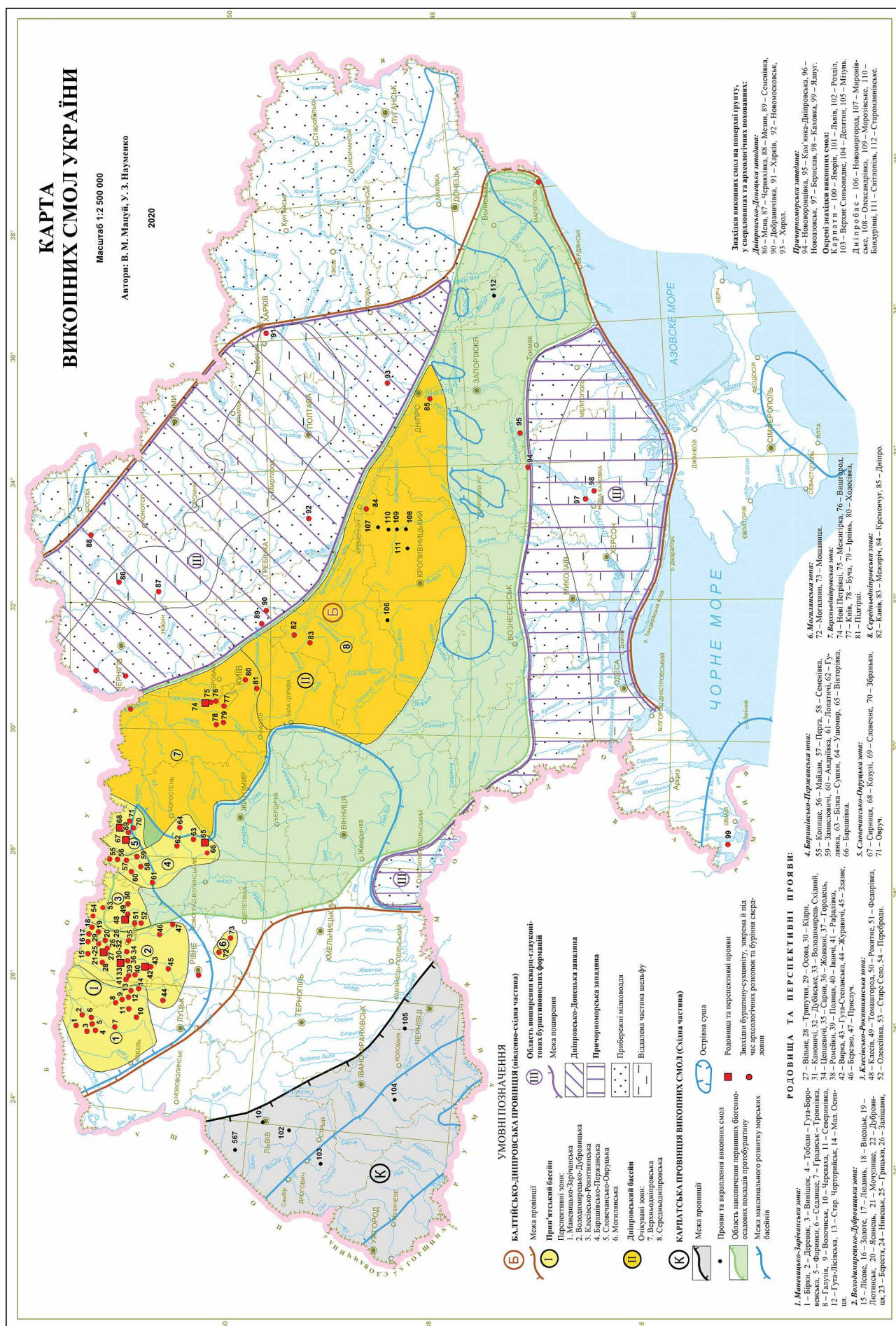


Рис. 1. Карта викопних смол України. Уклали: В. Мацуй, У. Науменко

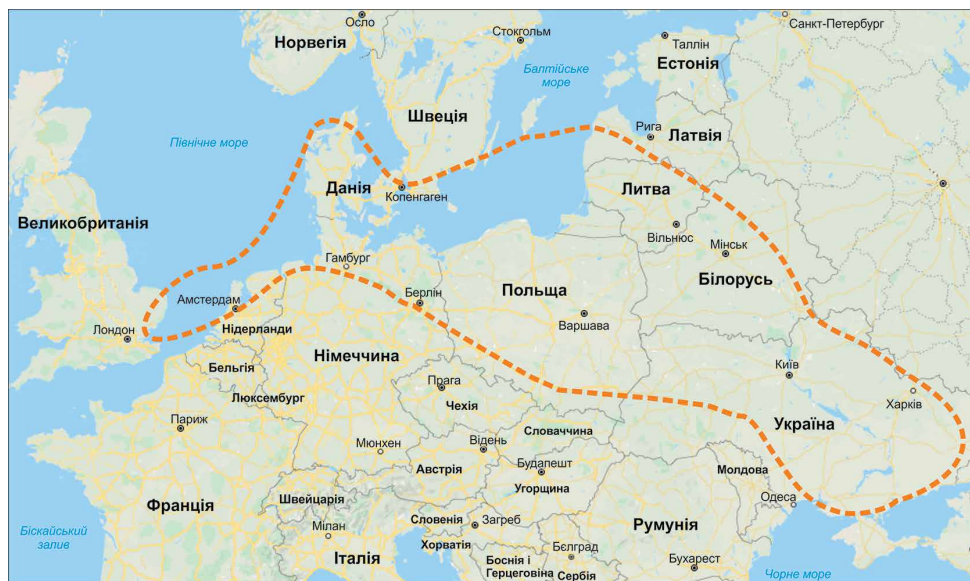


Рис. 2. Межі Балтійсько-Дніпровського бурштиноносного басейну (за В. Мацуї, У. Науменко)

ною крихкістю, здатністю виділяти пари бітуму, сірки або сірководню, майже не містять бурштинової кислоти (лише іноді до 0,5–1,5 %). В Україні карпатські викопні смоли приурочені до різновікових (від верхнього еоцену до міоцену) кварц-глауконітових розсипів, що накопилися в морській затоці, яка проникла далеко в сушу. Викопні смоли зазвичай приурочені до пісковиків з прошарками глинистих бітумінозних сланців, іноді з лінзами бурого вугілля.

Різні ознаки розглянутих викопних смол Карпатської провінції й усі

їхні відмінності від бурштину-сукциніту платформної України повністю зумовлені процесами складкоутворення, що супроводжувалися метаморфізмом порід, які містять прибережно-морські й лиманно-дельтові розсипи. Вони належать до Дністровського басейну Карпатської провінції викопних смол, ресурси якої ще не визначені.

Область накопичення первинних біогенно-осадових покладів протобурштину (корінних першоджерел розсипів викопних смол). Ця область 40–45 млн років тому охоплювала сучасну територію УЩ, на якій в умовах теплого й гумідного клімату бучацького часу густо виростили смолоутворювальні хвойні дерева. Суша з трьох сторін була оточена морськими водоймами. На стадії виділення живиці легколеткі компоненти випаровувалися, смоляні речовини тверднули, поліконденсувалися й окиснювалися на стовбурах дерев і в ґрунті, насиченому органікою хвойного лісу. Відбувалося накопичення первинних автохтонних покладів протобурштину безпосередньо в болотистих лісах на місці росту смолоутворювальної рослинності. Алохтонні біогенно-осадові поклади накопичувалися на віддалі від основного накопичувача біомаси в прилеглих ділянках і западинах бучацького рельєфу. Біогенно-осадові поклади протобурштину (автохтонні й алохтонні), вцілілі від постбучацького розмиття й перекриті молодшими геологічними нашаруваннями в процесі біохімічної вуглефікації за підвищеної вологості й ускладненого доступу кисню перейшли в буре вугілля й лігніти, що містять вкраплення викопних смол (ретиніт та ін.) [2, 4].

Області поширення кварц-глауконітових бурштиноносних формацій. На карті викопних смол України позначено площу можливого виявлення промислових розсипних родовищ бурштину-сукциніту у віддалених частинах шельфової зони морських басейнів, що омивали УЩ в еоцені й ранньому олігоцені з південного заходу, півночі й сходу. На карті прогнозну площу виділено як “область поширення кварц-глауконітових бурштиноносних формацій”. Прогнозні площі виділено на підставі палеогеологічного й палеогеографічного аналізу території УЩ і структур, що його облямовували в еоцен-олігоцені, та за результатами вивчення геології родовищ і бурштинопрозвів, а також знахідок бурштину-сукциніту на всій території Балтійсько-Дніпровської бурштиноносної провінції.

У Прип'ятському бурштиноносному басейні нині відомі шість перспективних зон: Маневицько-Зарічанська, Володимирецько-Дубровицька, Клесівсько-Рокитнянська, Барашівсько-Пержанська, Словечансько-Овруцька й Могилянська. Критеріями поділу на територіальні зони слугують структурно-тектонічні, стратиграфічні й палеогеографічні умови формування покладів викопних смол і розсипів бурштину-сукциніту.

На практиці вони означають сучасний поділ території України на бурштиноносні басейни, перспективні зони, райони та інші підрозділи за розмірами, промисловою значущістю, детальністю геологічного вивчення, особливостями розрізу, складу бурштину в продуктивному горизонті й генетичними типами розсипів тощо. Єдиної загальновизнаної схеми районування території України за бурштиноносністю немає, оскільки не розроблено єдиних критеріїв районування.

Згідно з різними публікаціями, уміст бурштину-сукциніту у виокремлених зонах, за винятком Могилянської, коливається від 1–5 до кількох сотень грамів на м³. У Прип'ятському басейні його загальні запаси перевищують 100 тис. т. На сьогодні тут зосереджено весь легальний і нелегальний видобуток бурштину в Україні.

Дніпровський басейн за площею в 2–3 рази перевершує Прип'ятський. Розсипи бурштину-сукциніту приурочені переважно до лиманно-дельтових відкладів межигірської світи нижнього олігоцену й алювіальних неогенових та антропогенових осадів р. Дніпра і його приток. Через слабку геологічну вивченість басейну перспективи бурштиноносності не визначені. У Дніпровському басейні виокремлено дві перспективні зони, що потребують ретельного довивчення: Верхньодніпровську і Середньодніпровську.

Карпатська провінція викопних смол в Україні представлена вторинними кварц-глауконітовими розсипами делятиніту, руменіту, ретиніту, галицького шрауфіту, піатри тощо. Ці смоли, на відміну від бурштину-сукциніту Прип'ятського й Дніпровського басейнів, характеризуються темнішим кольором з переважанням червоного, темно-вишнього, зеленого, коричнево-зеленого. Вони вирізняються підвищеною твердістю та щільністю, наявністю специфічної внутрішньої дрібної полігональної тріщинуватості, великою кількістю домішок сірки, підвищен-

З кінця середнього еоцену по ранній олігоцен під час розмивання еоценової суші й первинних біогенно-осадових покладів протобурштин річковими водами виносився до морських берегів. Лише деяка його частина осідала в береговій і літоральній зонах морських басейнів, де й сформувалися небагаті розсипи бурштину-сукциніту, які розробляють нині в Україні [4]. Велика частина протобурштину переносилася й осідала в глибоководній частині шельфу за межами зони впливу хвилювання води в місцях накопичення багатих розсипів бурштину-сукциніту. Цю схему перенесення смоляних виділень у глибоководну частину шельфу підтверджують літологічні дослідження [1] генезису продуктивного шару “блакитної землі” території Самбійського півострова, де розміщені найбільші у світі промислові родовища бурштину-сукциніту.

У межах прогнозованих площ свердловинами повсюдно підтверджена бурштиноносна кварц-глауконітова формація на глибинах від 2–10 до 50–100 м і більше. Під час геологічного знімання аркуша М-36-1 (Брагін) масштабу 1:200 000 [Мінськ, 1985, фонди УТГФ] білоруські геологізйомники в Чернігівському й Ріпкинському районах Чернігівської області та інших пунктах під час промивання керна свердловин у кварц-глауконітовій формації виявили 10 пунктів мінералізації бурштину в інтервалі глибин 50,4–110 м. Потужність продуктивних пісків становить 4,2–26,6 м. У низці місць Чернігівщини вже з’явилися перші нелегальні розкопки на бурштин-сукциніт. Упродовж багатьох років на лівобережжі Дніпра, у ДДЗ і на Причорномор’ї фіксуються знахідки бурштину, оброблені і необроблені шматки бурштину в археологічних стоянках, починаючи з пізнього палеоліту. Наведені матеріали свідчать про правомірність виділення нових площ, перспективних на пошуки багатих розсипів бурштину-сукциніту у віддалених частинах шельфових зон.

Укладачі карти глибоко переконані, що в подальшому на карті бурштиноносності України з’явиться не одне велике родовище бурштину в межах прогнозованих площ.

Висновки. Автори уклали карту викопних смол України, яка містить прогнозні висновки про можливе розміщення ще не виявлених розсипів бурштину-сукциніту у віддалених частинах палеошельфу. На карті позначено межі південно-східної границі Балтійсько-Дніпровської провінції бурштину-сукциніту й Карпатської провінції інших мінеральних різновидів викопних смол, а також область поширення первинних біогенно-осадових покладів протобурштину, унаслідок розмиття яких протобурштин переносився у морський басейн, де відбувалося його перетворення на бурштин-сукциніт. Протобурштин нерозмітої частини буцацьких біогенно-осадових покладів, перекритий еоцен-олігоценовими, неогеновими й антропогеновими відкладеннями, нині представлений вкрапленнями ретиніту та інших викопних смол у буровугільних нашаруваннях Дніпровського буровугільного басейну. Карта містить інформацію про розміщення родовищ і перспективних проявів бурштину-сукциніту, окремі знахідки викопних смол, зокрема виявлені під час археологічних розкопок, а також розкриті буровими свердловинами. У ній відображена межа максимального розвитку еоценових морських басейнів, суходоли й острівна суша.

Результати досліджень, опубліковані в статті, отримано під час виконання бюджетної програми “Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень” в Інституті геологічних наук НАН України (КПКВК 6541230).

ЛІТЕРАТУРА

1. Краснов С. Г., Каплин А. А. О генезисе янтареносных отложений палеогена Калининградской области по данным литологических исследований//Литология и полезные ископаемые. – 1976. – № 4. – С. 95–104.
2. Майданович И. А., Макаренко Д. Е. Геология и генезис янтареносных отложений Украинского Полесья. – Киев: Наук. думка, 1988. – 82 с.
3. Мацуї В. М. Эволюция смолопродукующей растительности и формирование залежей ископаемых смол. – Киев: Наук. думка, 2016. – 143 с.
4. Мацуї В. М., Науменко У. З. Перехід рослинних смол з біосфери в літосферу//Вісник національного науково-природничого музею НАН України. – 2020. – Вип. 19. – С. 85–91.
5. Мацуї В. М., Науменко У. З. Першоджерело розсипів бурштину-сукциніту//Природничі музеологія. – 2019. – Вип. 5. – С. 171–176.
6. Мацуї В. М., Науменко У. З. Прибережно-морські й морські розсипи бурштину-сукциніту в Україні//Геологія та корисні копалини Світового океану. – 2019. – № 4. – С. 44–56.
7. Мацуї В. М., Нестеровский В. А. Янтарь Украины (состояние проблемы). – К.: МП “Терра”, 1995. – 56 с.
8. Мельничук В. Г., Криницька М. В. Бурштин Полісся. Довідник. – Рівне: НУВГП, 2018. – 236 с.
9. Панченко В. І., Деревська К. І., Яковлева В. В. Бурштиновий промисел Прип’ятського басейну: історія, розвідка, видобуток: колективна монографія; за ред. В. І. Павлишина; Національний науково-природничий музей НАН України. – Київ: Логос, 2018. – 72 с.
10. Рудько Г. І., Литвинюк С. Ф. Родовища бурштину України та їх геолого-економічна оцінка. – Київ, 2017. – 237 с.
11. Савкевич С. С. Процессы превращения янтаря и некоторых янтареподобных ископаемых смол в связи с условиями их образования и нахождения в природе//Известия АН СССР. Серия: Геология. – 1983. – № 12. – С. 96–107.
12. Український бурштин: Матеріали Першої міжнародної науково-практичної конференції “Український бурштиновий світ” (Київ, 17–21 жовтня 2007 р.). – К., 2008. – 170 с.

REFERENCES

1. Krasnov S. G., Kaplin A. A. On genesis of amber deposits of paleogene in Kaliningrad region according to lithological research data//Litologiya i poleznye iskopaemye. – 1976. – № 4. – P. 95–104. (In Russian).
2. Maidanovich I. A., Makarenko D. E. Geology and genesis of amber deposits of Ukrainian Polesye. – Kiev: Naukova dumka, 1988. – 82 p. (In Russian).
3. Matsui V. M. Resins-producing vegetation evolution and formation of fossil tar deposits. – Kiev: Naukova dumka, 2016. – 143 p. (In Russian).
4. Matsui V. M., Naumenko U. Z. Transition of plant resins from the biosphere to the lithosphere//Visnyk natsionalnoho naukovoprirdnychoho museiu NAN Ukrainy. – 2020. – Iss. 19. – P. 85–91. (In Ukrainian).
5. Matsui V. M., Naumenko U. Z. The original source of scattered amber-succinite//Pryrodnycha muzeolohiia. – 2019. – Iss. 5. – P. 171–176. (In Ukrainian).
6. Matsui V. M., Naumenko U. Z. Coastal-sea and sea placers of amber-succinite in Ukraine//Heolohiia i korysni kopalyiny svitovoho okeanu. – 2019. – № 4. – P. 44–56. (In Ukrainian).
7. Matsui V. M., Nesterovskij V. A. Amber of Ukraine (state of the problem). – Kiev: MP “Terra”, 1995. – 56 p. (In Russian).
8. Melnychuk V. H., Krynytska M. V. Amber of Polissia. Directory. – Rivne: NUVHP, 2018. – 236 p. (In Ukrainian).
9. Panchenko V. I., Derevska K. I., Yakovleva V. V. Amber industry of the Prypiat basin: history, exploration, extraction: collective monograph; edited by V. I. Pavlyshyn. – Kyiv: Lohos, 2018. – 72 p. (In Ukrainian).
10. Rudko H. I., Lytvyniuk S. F. Amber deposits of Ukraine and their geological and economic assessment. – Kyiv, 2017. – 237 p. (In Ukrainian).
11. Savkevich S. S. Processes of amber and some amber-like fossil resins transformation due to the conditions of their formation and presence in nature//Izvestiya AN SSSR. Seriya: Geologiya. – 1983. – № 12. – P. 96–107. (In Russian).
12. Ukrainian amber//Materialy Pershoi mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii “Ukrainskyi burshtynovyi svit” (Kiev, 17–21 zhovtnia 2007 roku). – Kyiv, 2008. – 170 p. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 27.10.2020.

УДК 556.314

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.18-21>

І. В. ЛЕСЬКІВ, канд. геол.-мінерал. наук, завідувач відділу регіональних геофізичних досліджень (Український державний геологорозвідувальний інститут), ivles.ukrdgri@gmail.com

I. LESKIV, PhD (Geol. & Mineral.), Head of Department (Ukrainian State Geological Research Institute), ivles.ukrdgri@gmail.com

НАЙБЛИЖЧА ПЕРСПЕКТИВА ВИДОБУТКУ ЙОДУ В УКРАЇНІ

THE NEAREST PROSPECT OF IODINE PRODUCTION IN UKRAINE

Україна посідає останнє місце в Європі за споживанням йодованої солі на душу населення, а обов'язкове йодування солі ще не передбачено на законодавчому рівні. Йододефіцит у людському організмі викликає в дітей гальмування росту й погіршення пам'яті, у дорослих – зниження працездатності й захворювання ендокринної системи. Дедалі більші потреби в йоді Україна задовольняє імпортою сировиною з країн-виробників.

За результатами аналізу складу пластових вод газонафтоносних площ України, який підготував автор, уперше на суходолі держави виявлено промислові запаси йодовмісних пластових вод з умістом йоду 18–40 мг/дм³ у пластах сармату Крукеницької та Чоп-Мукачівської западин на глибинах 500–2200 м. У Крукеницькій западині швидкість накопичення в басейні осадів сармату сягала 1 см/рік, а його теперішня товщина 6 (!) км. Пластові води зі свердловин переливали з дебітами до 300 м³/д. У йодовмісних водах у незначних обсягах наявний розчинений вуглеводневий газ з умістом метану до 92 %. Оцінені в межах вивчених ділянок ресурси йоду дають змогу видобувати його рентабельно понад 50 років. Для техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) розробки покладів йоду та вибору способів і технологій його вилучення ще потрібні дослідні відкачування пластових вод з метою підрахунку промислових запасів вод і детального аналізу розчинених у водах сполук йоду.

Ключові слова: Крукеницька й Чоп-Мукачівська западини, піщані пласти сармату, пластові води, розчинені у водах йод і газ, оцінка ресурсів йоду та його видобуток.

Ukraine ranks the last place in Europe in iodized salt consumption per head of population, and mandatory salt iodization level has not yet been legalized. Iodine deficiency causes growth inhibition and memory impairment in children, efficiency decrease and endocrine system diseases – in adults. Iodized salt has not been widely used in Ukraine and the increase in the laminaria prices has been constraining its consumption. Since 1972 iodine reserves of Ukraine are recorded to be found in the waters of Severo-Sivaskoye field in Azov Sea, but due to high cost of drilling the offshore wells, iodine had not been extracted from the reservoir. The growing demand of Ukraine for iodine is met by its import from the producing countries. The rate of consolidated sediments accumulation in Krukenitsk depression of the Sarmatian basin reached 1 cm/year, and its current thickness is 6 (!) km. Formation waters from wells overfilled from flow rates up to 300 m³/d. The layers of oligomictic and polymictic sandstones with carbonaceous cement thickness up to 5 m, porosity up to 26 %, permeability –10 mD and carbonate content level up to 20 % serve as reservoirs of formation waters in Sarmatian molasses. There are no records of regularities in change of iodine content in waters of Krukenitsk depression; iodine concentration in Chop-Mukachevo depression increases to the southwest from the axis of the Vihorlat-Gutin Area. Iodinated waters contain dissolved hydrocarbon gas in small volumes with a methane content of up to 92 %. The iodine resources estimated within the studied areas of 15 km² at Krukenitsky depression and 10 km² at Chop-Mukachevo depression, allow its profitable commercial production for more than 50 years. Waste formation waters will be disposed through available highly permeable aquifers. In order to perform iodine production feasibility evaluation, further formation water study and detailed iodine compounds analyses are needed.

Keywords: Krukenytska and Chop-Mukachevo depressions, sand layers of Sarmatian, formation waters, iodine and gas dissolved in water, assessment of iodine resources and its extraction.

За даними Інституту ендокринології АМН України, людська нервова система найчутливіша до браку йоду в організмі. А серед найфатальніших наслідків йододефіциту – народження розумово неповноцінних дітей, зниження їхнього інтелекту, сповільнення росту та зниження працездатності в дорослих. В Україні відсоток учасників ЗНО з фізики й математики щорічно скорочується, а 2019 року відсоток школярів, які склали іспити із цих предметів на мінімальний бал, сягнув 30 %. За останнє десятиріччя влада не здійснила жодних кроків зі зниження йододефіциту населення, особливо в молодого покоління. Через низький уміст йоду у воді й ґрунтах, а отже й у харчових продуктах українського походження, дефіцит йоду в населення мав би покриватися за аналогією з іншими країнами світу завдяки використанню йодованої солі. У процесі приготування страв більша частина йоду із солі випаровується і його дефіцит не компенсується. Зарадити цьому можна, якщо додавати йодовану сіль у готові страви, але рідко яка з українських господинь знає про це. Серед європейських країн найменше йодованої солі

на душу населення споживають саме в Україні, та й закону про обов'язкове йодування солі також бракує.

Повноцінним заміном йодованої солі може слугувати морська капуста (водорості родини ламінарієвих). Вона поширена на обмежених прибережних ділянках акваторій Тихого й Атлантичного океанів з постійними течіями на глибинах води 2–20 м. Ростає на схилах і каміннях побереж'я Сахаліну, Південних Курил за $t = 0+13^{\circ}\text{C}$. Водорості живуть чотири роки, оптимальні харчові якості властиві дворічним ламінаріям, а їхня врожайність становить до 100 тонн з гектара. У листках міститься до 3 % йоду, а також 12 хімічних елементів, дев'ять вітамінів, полісахариди, кислоти й фруктози. В Україні мариновану морську капусту з російських Сахаліну й Курил, розфасовану в Білорусі, реалізують ціною понад 70 грн/кг.

75 % йоду людського організму міститься в щитоподібній залозі. Наслідками йододефіциту є захворювання щитоподібної залози й “букет” спричинених через хвору залозу ускладнень зниження росту та інтелекту в школярів. Крім харчової промисловості, йод використовують у медицині, ветеринарії, металургії, хімічній промисловості, сільському

господарстві, криміналістиці, а в останні роки – у виробництві електроніки, літєвих акумуляторів, ізотопів, дисплеїв на рідких кристалах і лазерних пристроїв. Йод належить до II класу токсичності, його гранично допустимі концентрації в повітрі – 1 мг/м^3 . Для виробництва сполук йоду потрібен сам йод, якого в Україні не добувають, а імпортують щорічно від світових країн-виробників (Чилі, США і Японія). У більших концентраціях йод трапляється в морській воді, пластових водах нафтогазоносних басейнів, до 140 мг/дм^3 , та океанічних водоростях. Промислові обсяги йоду одержують переважно методом повітряної десорбції, а також іншими способами.

Щорічно обсяги світового виробництва йоду зростають на 2,5–3,0 % і вже сягають 40 тис. т, а його ринкова ціна становить понад \$50 за 1 кг. В останні роки на ринку виробників йоду з'явилися Азербайджан, Іран і Туркменістан, а імпорт в Україну хлору, йоду, бромі та фтору за 2016–2018 рр. зріс у 87 разів.

Найдоступнішим способом отримання йоду в Україні є підземні пластові води. Супутні води нафтових родовищ ДДЗ і Внутрішньої зони Передкарпаття, у яких виявлені промислові вмісти йоду, не годяться для його виробництва через чималі глибини залягання йодовмісних вод і високу вартість експлуатаційних свердловин, невеликі дебіти припливів води, короткий період фонтанного способу їхнього видобутку та шкідливі домішки [1]. Держбаланс корисних копалин України обліковує тільки два родовища підземних промислових вод з кондиційним, понад 10 мг/дм^3 , вмістом йоду – Північносиваське в Херсонській і Бистрівське у Львівській областях.

Північносиваське родовище промислових йодних вод виявлено внаслідок буріння двох свердловин на Арабатській стрілці під час розвідки Стрілкового родовища газу й розміщене в акваторії Азовського моря та прилеглих до нього західних заток і водойм Сивашу (рис. 1). Уміст йоду у воді родовища становить до 30 мг/дм^3 . Запаси йодовмісних вод затверджені ДКЗ у 1972 р. в обсягах кат. А – 7,2 тис. $\text{м}^3/\text{д}$, В – 12,8 тис. $\text{м}^3/\text{д}$ і С1 – 13,6 тис. $\text{м}^3/\text{д}$. Пластові води хлоридо-натрієвого типу залягають у товщі дат-еоцену в пісковиках та органогенно-детритових вапняках товщами до 100 м на глибинах 1 300–1 600 м, де температура сягає 59°C . Більша частина продуктивної площі родовища розміщується на території Херсонської області, решта – належить АР Крим. У 2018 р. уряд окупованого Криму безуспішно шукав зарубіжних інвесторів для видобутку на “свій” ділянці родовища пластових вод з метою одержання йоду. Згідно з ТЕО з Північносиваського родовища 42 проєктними свердловинами за допомогою компресорів і глибинних електропомп на пізнішому етапі видобутку вод передбачалося щорічне вилучення йоду в кількості 200 тонн на Сакському йодобромному заводі. Через потребу буріння в акваторії дорогих добувних свердловин та анексію Криму, Україна Північно-Сиваське родовище йоду, очевидно, не розроблятиме.

Бистрівське родовище промислових підземних розсолів розміщується на південному сході від Трускавця у Львівській області. Розсоли мінералізацією понад 350 г/дм^3 містяться у відкладах верхньоворотинської підсвіти в тріщинуватій глауригит-мірабілітовій шапці вторинних солей на глибинах 45–90 м і переливають з дебітом до $20 \text{ м}^3/\text{д}$. Через малі запаси води та її низькі дебіти вода слугує сировиною тільки для виготовлення лікувальної трускавецької солі “Барбара”, аналогічної до солі з Карлових Вар у Чехії. В Україні це єдине родовище такої лікувальної солі.

Унаслідок аналізу даних з гідрогеології нафтогазоносних областей України виявлено дві геолого-тектонічні території, на яких є об'єкти для видобутку пластових йодовмісних вод і які відповідають таким критеріям: 1) невеликі глибини залягання й прості гірничо-геологічні умови буріння свердловин, що не здорожчуватиме їхньої вартості; 2) наявність у перспективному розрізі високомісних і проникних міцних гранулярних колекторів, які забезпечать високі дебіти припливів вод і рідини в потоці без твердої фази; 3) наявність аномально високого пластового тиску чи надлишкових тисків, які забезпечать тривалий період самовиливу вод зі свердловин; 4) наявність у водах великих концентрацій йоду без агресивних чи шкідливих компонентів; 5) наявність у водах незначних обсягів розчиненого вуглеводневого газу, який можна буде використати для технологічного процесу вилучення йоду, що знизить його собівартість; 6) наявність на малих глибинах природних резервуарів для закачування відпрацьованих пластових вод; 7) розвинена інфраструктура територій – дороги, залізниці, ЛЕП, газопроводи й населені пункти. Ці території – Крукеницька западина Зовнішньої зони Передкарпатського прогину і Чоп-Мукачівська западина Закарпатського прогину. Геологічну будову цих територій досить повно вивчено геофізичними методами, свердловинами різних категорій і глибин та докладно описано. Головним перспективним комплексом з йодовмісними пластовими водами на згаданих територіях вважаємо моласові відклади сарматського ярусу. Нижче звернемо увагу тільки на деякі виявлені, але раніше не висвітлені особливості територій. Краковецький розлом спрямований під кутом 40° до Карпатської геосинкліналі. Крукеницька западина на території України має в плані форму трикутника: сторона вздовж лінії



Рис. 1. Північносиваське родовище. Схема розміщення за О. Ф. Кириченко, 1972

кордону з Польщею завдовжки становить 42 км, а бічні сторони, які сходяться на південному сході, східніше Майницького газового родовища, під кутом 25° , – 58 і 63 км (рис. 2). Поверхня рифейського фундаменту за даними методу спільної глибинної точки з позначки -2,2 км на кордоні з Польщею

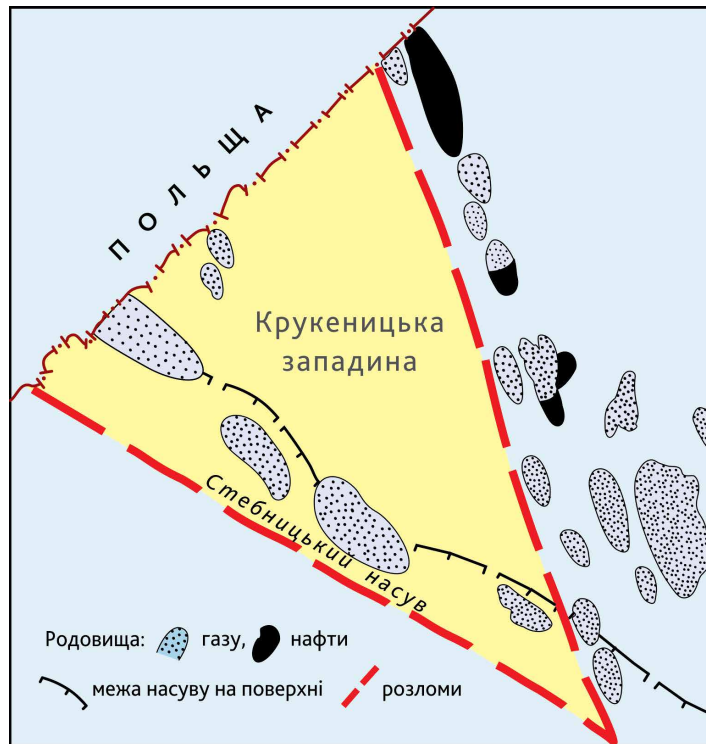


Рис. 2. Схема Крукеницької западини

опускається на південний схід, сягаючи позначки -6,4 км. За сейсмічними даними форму поверхні фундаменту різні автори інтерпретують неоднозначно – від блокової до спокійної з рідкими скидами. Крукеницька западина – тектонічний елемент з найбільшою в Україні товщиною нижнього сармату, що становить приблизно 6 км! [2]. На Закарпатті товщина осадів сармату – 700 м, у Передкавказзі – 900 м. Об'єм порід нижнього сармату в Крукеницькій западині, з огляду на прийняту в літературі умовну межу їхнього поширення під Стебницьким насувом, сягає 2,6 тис. км³. У найглибшій частині Крукеницької западини накопичення осадів нижнього сармату проходило з небаченою в геології швидкістю – до 1 см за рік. Подібні товщини одновікових молас майкопу трапляються в Україні ще на Керченському півострові.

Повздовжні блоки доальпійського фундаменту Передкарпатського прогину утворюють гряди з рифейськими породами в ядрі. Обмежувальні блоки Краковецький, Городоцький та інші розриви розвивалися в неогені одночасно з осадкоутворенням. Товщини однойменних горизонтів сармату в зануреному й трохи піднятому крилах Крукеницького й Бонівського блоків різняться більше ніж удвічі (рис. 3). Крім повздовжньої у Крукеницькій западині, менш активно проявилася поперечна тектонічна діяльність – тільки чотири регіональні розломи у фундаменті трасуються в межах западини від Карпат до платформи. Резервуарами пластових вод у Крукеницькій і Чоп-Мукачівській западинах слугують витримані по площі пласти олігоміктових, зрідка поліміктових, міцних кварцових з карбонатним цементом пісковиків завтовшки до 3–5 м у товщі дрібнозернистих алевролітів і глин. Поруватість пісковиків сягає 26 %, проникність – 10 мД. Уміст карбонатного цементу в пісковицях становить до 20 %, опус

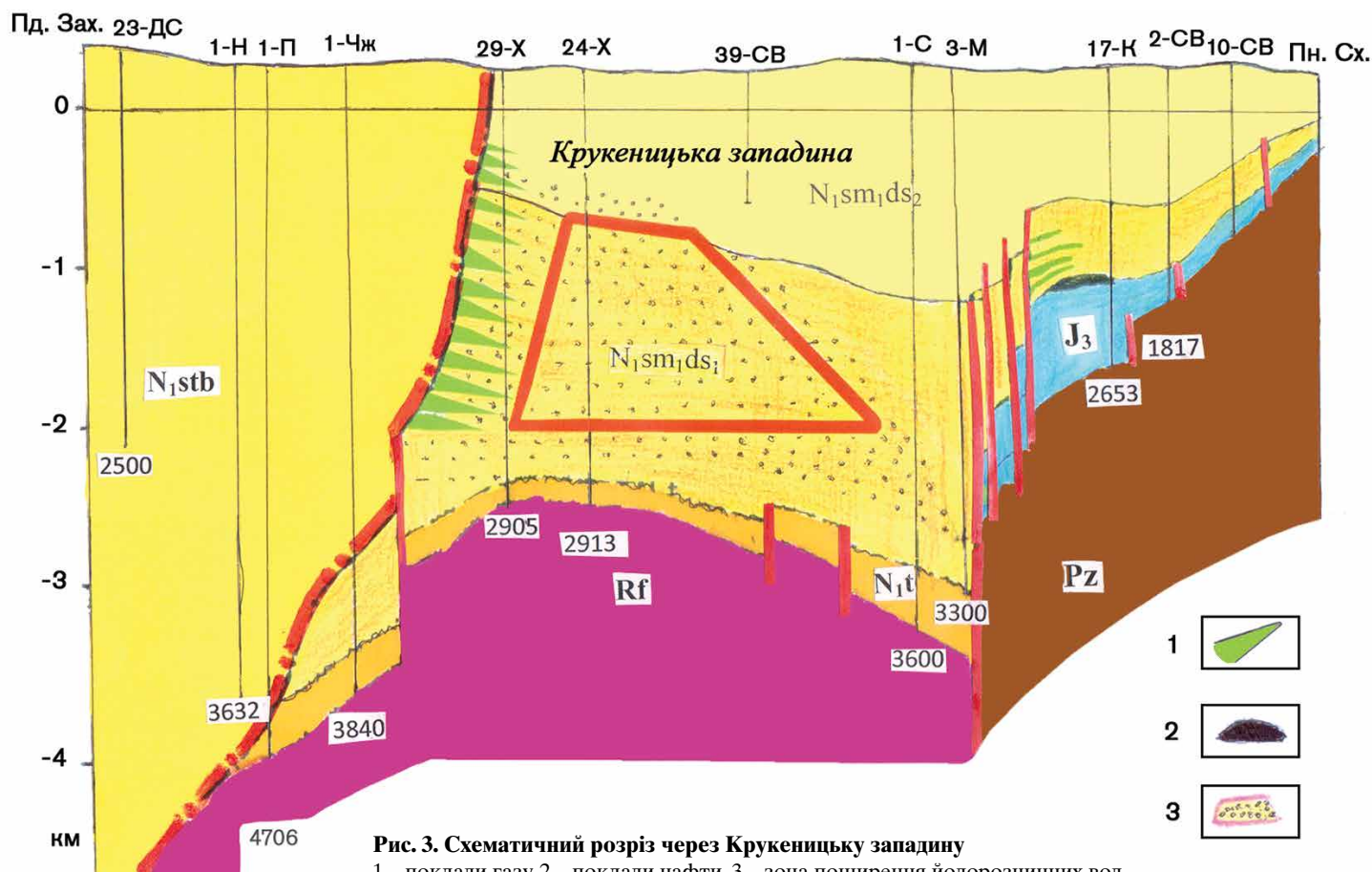


Рис. 3. Схематичний розріз через Крукеницьку западину

1 – поклади газу, 2 – поклади нафти, 3 – зона поширення йодорозчинних вод

а використання солянокислотного оброблення набагато підвищує дебіти припливів флюїдів зі свердловин. Покришками пасток слугують пласти-репери туфів і щільних монтморилітових глин, які унеможливають гідравлічний зв'язок між горизонтами. Це підтверджують різні характеристики вод із сусідніх по розрізу горизонтів. Пробурені по територіях западин свердловини розміщені нерівномірно. Їхня головна мета полягала в пошуках газу, але здебільшого під час випробування одержували припливи вод, які вивчали в лабораторіях УкрДГРІ і УкрНДІгазу. Вміст йоду у водах коливався переважно в межах 18–40 мг/дм³, але траплялися й води з більшим умістом, аж до 161 мг/дм³ (свердловина 2-Залужани). У водах також наявний розчинений вуглеводневий газ із умістом метану до 92 %, який можна використовувати в технологічному процесі вилучення йоду. У Крукеницькій западині в межах свердловин, які ми дослідили, йод міститься в пластових водах нижнього сармату з глибини 900 м, а колектори, які можуть забезпечити промислові припливи йодовмісних вод, поширені тільки до глибини 2 200 м. Глибше залягли пласти ще потребують додаткового вивчення їхніх фільтраційних можливостей. Закономірностей зміни концентрацій йоду по території не виявлено. У Чоп-Мукачівській западині йодовмісні води наявні в сарматі з глибини 500 м, а концентрація в них йоду зростає вперек осі Вигорлат-Гутинської гради на південний захід (рис. 4). Походження йоду в пластових водах западин і закономірності зміни його концентрації ще потребують наукового вивчення.

Матеріал стосовно йодовмісту пластових вод, який зібрав автор, дав змогу вперше в Україні оцінити ресурси йоду в Крукеницькій і Чоп-Мукачівській западинах на ділянках площею 15 км² і 10 км² відповідно та підтвердити рентабельність робіт з організації на суходолі власного видобутку йоду.

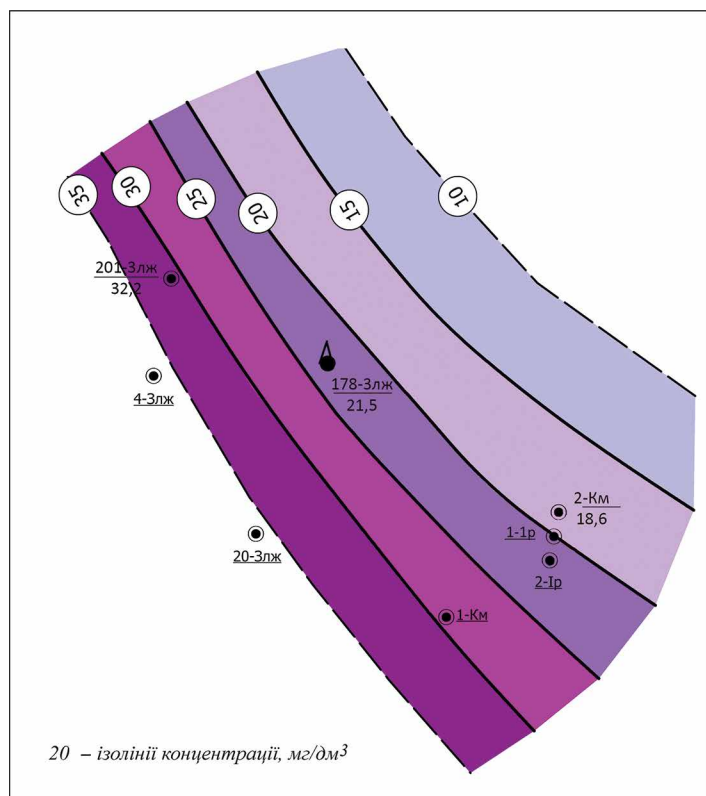


Рис. 4. Прогнозна схема максимальних концентрацій йоду у відкладах сармату площі Залуж – Іршава

Кінцевому рішення про видобуток йоду ще мають передувати такі роботи: 1. Дослідження з відповідної наукової тематики для конкретизації напрямів робіт з освоєння ресурсів йодовмісних вод. 2. Дослідні водовипуски на першочергових ділянках з метою підрахунку промислових запасів йодовмісних вод гідродинамічним способом. 3. Всебічне вивчення в Інституті ендокринології НАМН України складу сполук йоду в пластових водах для вибору оптимальних способів вилучення чистого йоду та виробництва йодопрепаратів як бази для складання об'єктивного ТЕО робіт на родовищах з видобутку йоду.

Кінцева мета: згідно з Національною програмою “Здорова нація” забезпечити учнів усіх шкіл і дошкільних закладів доступними йодовмісними препаратами вітчизняного виробництва для обов'язкового щоденного вживання під наглядом вихователів, що стане запорукою повноцінного росту й розвитку розумових здібностей молодого покоління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучманіч Н. Г., Бриндзя І. В., Шемельов В. Г. Пластові води Бориславського нафтопромислового району як джерело йоду і бромиду//Вісник Харківського НУ ім. Каразіна. – 2018. – № 2. – С. 62–68.
2. Леськів І. В., Щербя В. М. Геолого-геофізичні методи розшуків газу у Зовнішній зоні Передкарпатського прогину. – К.: Наукова думка, 1979.

REFERENCES

1. Kuchmanych N. H., Bryndzia I. V., Shemelev V. H. Formation waters of Boryslav oil field as the source of iodine and bromine//Visnyk Kharkivskoho NU im. Karazina. – 2018. – № 2. – P. 62–68. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-05> (In Ukrainian).
2. Leskiv I. V., Shcherba V. M. Geological and geophysical methods of gas exploration in the Outer Zone of the Pre-Carpathian Depression. – Kyiv: Naukova dumka, 1979. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 17.08.2020.

КАТАЛОГ ВИДАнь УКРАЇНИ

ПРЕСА ПОШТОЮ

Шановні читачі!

Державне підприємство з розповсюдження періодичних видань «Преса» повідомляє, що триває передплата на періодичні видання України на 2021 рік.

Передплату можна оформити за Каталогом видань України «Преса поштою»:

- на сайті ДП «Преса» www.presa.ua;
- на сайті АТ «Укрпошта» www.ukrposhta.ua;
- у відділеннях поштового зв'язку;
- в операційних залах поштамтів;
- у пунктах приймання передплати.

УДК 550.4.02

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.22-27>

Я. О. МАЛЬКОВА, молодший науковий співробітник (ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України"), malkovayanakiev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6215-9901>,

В. В. ДОЛІН, д-р геол. наук, професор (ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України"), vdolin@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6174-2962>,

В. М. БОБКОВ, канд. хім. наук, старший науковий співробітник (ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України"), IGNSBobbkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3857-5075>

Ya. MALKOVA, Junior Researcher (State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of National academy of Science of Ukraine"), malkovayanakiev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6215-9901>,

V. DOLIN, Dr. Sci. (Geol.), Professor (State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of National academy of Science of Ukraine"), vdolin@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6174-2962>,

V. BOBKOV, PhD (Chemistry), Senior Researcher (State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of National academy of Science of Ukraine"), IGNSBobbkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3857-5075>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕКЦІЙНО-ДИФУЗІЙНОГО МАСОПЕРЕНОСЕННЯ В РОЗСОЛАХ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ (м. КАЛУШ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛ.)

EXPERIMENTAL MODELING OF CONVECTION-DIFFUSE MASS TRANSFER IN BRINE OF DOMBROVSKYI QUARRY (KALUSH, IVANO-FRANKIVSK REGION)

У статті проаналізовано процеси дифузійно-конвективного масоперенесення та їхні параметри, визначено гідрогеохімічні критерії оцінки формування хімічного складу розсолів Домбровського кар'єру Калуш-Голінського родовища. Експериментально змодельовано динаміку процесів, які відбуваються під час надходження прісної води на поверхню розсолів. Аналіз цих даних з позицій формальної кінетики для незворотного процесу дав змогу оцінити швидкість конвекційно-дифузійного процесу. Ізотопним методом з використанням тритієвої мітки експериментально досліджено швидкість самодифузії води в насичений розсіл галіту ($D=1,21 \cdot 10^{-5}$ см²/с) і гідратованих (у тритійованій воді) іонів Na^+Cl^- ($D = 6,62 \cdot 10^{-6}$ см²/с). За просторовою динамікою зміни положення половинної (від рівноважної) концентрації тритію розраховано лінійну швидкість самодифузії води в розсіл (6,56 см/добу) та дифузії гідратованих іонів хлориду натрію у воду (1,10 см/добу). Водночас швидкість зміни положення половинної (від рівноважної) концентрації тритію у просторовому плані майже однакова: 0,22 см/добу та 0,23 см/добу відповідно. Побудовано математичні моделі, які описують динаміку зазначених процесів. Отримані дані дають можливість розраховувати швидкості переміщення солей із глибини Домбровського кар'єру на його поверхню. Оцінено кількість прісної води (220 тис. т), здатної продифундувати впродовж року з поверхні на 100-метрову глибину в нижні шари розсолів Домбровського кар'єру та розчинити солевмісні породи у його бортах і підосві.

Ключові слова: Домбровський кар'єр, конвекційно-дифузійне масоперенесення, дифузія, розсіл.

The article presents the analysis of diffusion-convective mass transfer processes and their parameters, defines hydrogeochemical criteria for evaluation of brine chemical composition formation in Dombrovskiy quarry of Kalush-Golynske deposit. It has been experimentally determined that the temperature gradient (20 °C) significantly affects the rate of mass transfer in the brines. This is probably due to convection-diffuse processes.

The dynamics of processes occurring when fresh water enters the brine surface has been experimentally simulated. Analysis of these data from the point of view of formal kinetics for irreversible process allowed estimating the speed of convection-diffusion process. The rate of self-diffusion of water into saturated brine of galite ($D = 1,21 \cdot 10^{-5}$ cm²/s) and hydrated (in tritium water) ions of Na^+Cl^- ($D = 6,62 \cdot 10^{-6}$ cm²/s) were experimentally studied by the isotope method using the tritium label. According to the spatial dynamics of the half (from equilibrium) tritium concentration, the linear rate of self-diffusion of water into brine (6,56 cm/day) and diffusion of hydrated sodium chloride ions into water (1,10 cm/day) are calculated. At the same time, the change rate of position of half (from equilibrium) tritium concentration in the spatial plan is almost the same: (0,22 cm/day) and (0,23 cm/day), respectively. Mathematical models describing the dynamics of these processes have been constructed. The obtained data make it possible to calculate the rates of salts movement from the depth of the Dombrovskiy quarry to its surface. Estimated amount of fresh water (220 thousand tons), capable to indifundate within a year from the surface to a 100-meter depth in the lower layers of Dombrovskiy quarry brines and dissolve the salt-containing rocks in its sides and the bottom.

Keywords: Dombrovskiy quarry, convection-diffusion, mass transfer, diffusion, brine.

Вступ

Проблема накопичення розсолів (переважно хлоридів натрію, меншою мірою калію) у Домбровському кар'єрі, який розробляли на території Калуш-Голінського родовища калійних солей, особливо загострилася після повені 2008 року. Внаслідок взаємодії атмосферних опадів і підземних вод із соленосними породами зростає об'єм розсолів та диференціація їхнього хімічного складу з глибиною. Наразі рівень розсолів з концентрацією 60 г/л досягнув підосві прісного водоносного горизонту, який використовується для

питного водопостачання, що загрожує техногенною катастрофою [17].

Визначення швидкостей процесів формування хімічного складу розсолів Домбровського кар'єру та його прогнозування має першочергове значення для запобігання надзвичайній ситуації. Раніше ми [2] змодельовали процес дифузії води в розчин галіту за допомогою барвника – метилового жовтогарячого. Дещо різні фізико-хімічні властивості води й барвника спричиняються до певної похибки в розрахунках швидкості дифузії води, тому в цій праці за мітку було використано тритійовану воду (H-O-T). Унаслідок дуже близьких фізико-хімічних властивостей протієвої та тритієвої вод, а

також з огляду на прецизійну точність визначення невеликих кількостей тритію у воді, цей ізотоп водню ідеальний для вивчення процесів, пов'язаних з дифузією води.

У разі взаємодії води й розсолу (водного розчину) галіту передусім відбуваються два процеси: перший – дифузія молекул води з верхнього шару в розсіл (самодифузія), де концентрація води набагато нижча; другий – дифузія гідратованих іонів солі із розсолу в чисту воду верхнього шару.

Для всебічного моделювання зазначених процесів ми поставили два паралельні експерименти. Перший полягав у приготуванні розсолу на протієвій воді з додаванням зверху тритійованої води. Другий – у приготуванні розсолу на тритійованій воді з додаванням зверху протієвої води.

Ця праця мала на меті з'ясувати швидкості протилежно спрямованих дифузійних потоків води в товщу розсолу та гідратованих іонів солі з розсолу у воду.

Аналіз останніх досліджень

Проблемі самозатоплення Домбровського кар'єру після поєвн 2008 року, питанням формування хімічного складу розсолів і запобігання негативним екологічним наслідкам присвячено низку наукових праць [3, 9, 16]. Результати геофізичного моніторингу геологічного середовища, прогнозування розвитку небезпечних геологічних процесів описано в працях Е. Д. Кузьменка, С. М. Багрія зі співавторами [1, 10–12]. А. М. Гайдін і В. О. Дяків у власних наукових працях [5–8] висловили думку, що “гравітаційне розшарування водної товщі зумовлює двохшарову будову водної товщі з розсолами на глибині понад 18 м і прісною водою зверху”. На нашу думку, завдяки конвекційно-дифузійним процесам масоперенесення відбувається істотний перерозподіл компонентів розсолу за глибиною. У праці [2] ми експериментально підтвердили, що маса води, яка за 1 рік продифундує на глибину 100 м через усю площу кар'єру 180 га, становитиме понад 180 тис. т, що може розчинити понад 80 тис. т калійної руди і вміщувальних порід.

Візуальні спостереження конвекційно-дифузійного масоперенесення у розсолах Домбровського кар'єру

У працях [5–8] зроблено висновки, які суперечать основам хімічної кінетики та термодинаміки, законам і явищам, відомим з XIX століття, як-от: Броунівський рух (1827 р.), закони дифузії Фіка (1855 р.), поняття ентропії, яке увів Клаузіус у 1865 р., хімічна теорія розчинів Д. І. Менделєєва (1887 р.) [13]. Ця невідповідність спонукала авторів провести серію таких експериментів.

Для візуального спостереження динаміки дифузійно-конвекційних процесів, які відбуваються під час надходження прісної води на поверхню розсолів Домбровського кар'єру, у три скляні циліндри місткістю 500 см³ вміщали 200 см³ розсолу концентрацією 388 г·дм⁻³, який відібрало ДП НДІ “Галургія” з глибини 75 м південної ділянки кар'єру 07.06.2010 р. Зверху обережно (по краплях, щоб запобігти механічному перемішуванню) у циліндр доливали 200 см³ дистильованої води, підфарбованої органічним барвником метиловим жовтогогарячим. Влітку й узимку різниця температури розсолу на поверхні та в придонному шарі може сягати більш як 20 °С. Щоб спостерігати конвекційно-дифузійні процеси, один з наповнених циліндрів нагрівали знизу, а інший – згори до температури 40 °С. Третій циліндр не піддавали жодному впливу.

У перші чотири доби після початку експерименту унаочнюється чітка межа розділення фаз, яку спостерігав А. М. Гайдін зі співавторами [5]. Проте вже через п'ять діб, якщо немає будь-якого зовнішнього впливу, спостерігається розмивання цієї межі та рух забарвленого розчину вниз,

який досягає дна циліндра менш як за 2 місяці після початку експерименту (рис. 1).

У разі створення градієнта температур між нижньою та верхньою частинами розчину у 20 °С ми спостерігаємо конвекційно-дифузійний процес, спрямований одночасно на подолання різниці концентрацій і температур (можливо, сполучення концентраційної і термодифузії). Під час нагрівання нижньої та верхньої частин циліндра забарвлений розчин досягає дна циліндра менш як за місяць (рис. 2, 3). Водночас

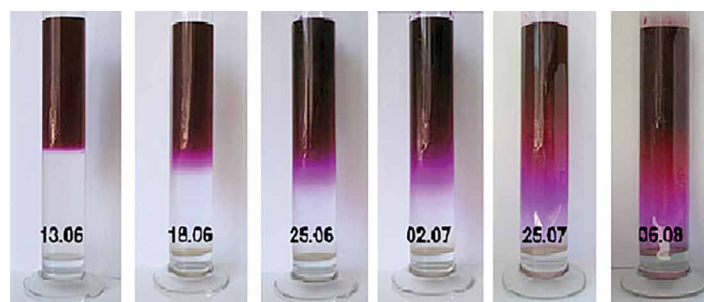


Рис. 1. Візуалізація процесу дифузії під час надходження прісної води на поверхню розсолів Домбровського кар'єру



Рис. 2. Візуалізація дифузійно-конвекційного процесу під час моделювання зимових умов (нагрівання знизу)



Рис. 3. Візуалізація дифузійно-конвекційного процесу під час моделювання зимових умов (нагрівання згори)

забарвлення розчину нижче мітки 250 см³, де домішано висококонцентрований розсіл, набагато інтенсивніше, ніж у циліндрі без зовнішнього впливу (рис. 1). Під час моделювання “літніх” умов наочне вирівнювання забарвлення розчину в усьому об’ємі циліндра відбувається менш як за півтора місяця (рис. 3). Нагрівання нижньої або верхньої частини циліндра підвищує швидкість масоперенесення в розчині у 2,9–3,3 раза.

Кінетика дифузії тритійованої води в насичених розчинах галіту

Об’єктами дослідження були тритійована вода з вихідною активністю $C_{\text{init}} = 24\,460$ Бк/л і насичені розчини мінералу галіту (NaCl) як у легкій, так і тритійованій воді.

Методика експерименту. Тритійовану воду зазначеної активності підготовлено внаслідок розбавлення концентрованої очищеної й перегнаної тритійованої води легкою дистильованою водою з наступним експериментальним визначенням її активності.

Для приготування розсолів галіту подрібнені наважки по 2 кг кристалічного галіту заливали або 5,2 л легкої дистильованої води, або 5,2 л тритійованої (24 460 Бк/л). Суміші нагрівали до 60 °С і витримували за кімнатної температури чотири доби. Отримані в такий спосіб розсоли фільтрували через паперову “синю стрічку” від надлишків солі.

Для експерименту використано дві скляні ємності циліндричної форми об’ємом по 10 л, які щільно закриваються кришками від випаровування. У першу ємність було налито 5,0 л насиченого розсолу галіту на легкій воді, а в другу – 5,0 л розсолу на тритійованій воді. Потім у першу ємність було додано 5,0 л чистої тритійованої води ($C_{\text{init}} = 24\,460$ Бк/л), а в другу – 5,0 л легкої дистильованої.

Отже, у першій ємності маємо знизу розсіл на тритійованій воді, а зверху – шар легкої дистильованої води, у другій відповідно знизу маємо розсіл на легкій воді, а зверху – шар тритійованої води. У першу годину межа між зазначеними фазами простежується наочно внаслідок різної щільності та різного заломлення світла.

Основні проби відбирали із шару легкої води на рівнях 0 (межа розсолу), 2, 7 та 13–14 см (дно або поверхня) скляною піпеткою ємністю 5 мл. Додатково відбирали проби з кожного шару тритійованої води на рівні 2 см від межі розсолу. Отримані водно-сольові зразки переганяли для відділення солі.

Приготування лічильної форми для визначення кількості тритію проводили в такий спосіб. У спеціальну поліетиленову віалу ємністю 20 мл уміщували попередньо зважену кількість перегнаної води, додавали розраховану кількість легкої дистильованої води так, щоб загальна кількість води у віалі становила 8 г проби. Далі додавали 12 г сцинтиляційної рідини ORTPHASE HiSafe 3 виробництва фірми “Perkin-Elmer”. Суміш ретельно перемішували й вимірювали за допомогою ультранизькофонового рідинно-сцинтиляційного α - β -спектрометра Quantulus 1220-003

Першу пробу відбирали за годину (0,04 доби) після змішування розсолу з водою, а потім періодично впродовж 206 діб, доки концентрація тритію в різних шарах води не вирівнювалася.

Результати досліджень

1. Оцінка самодифузії води у розсіл. Для кількісної оцінки швидкості спостережуваних процесів з позицій хімічної кінетики та термодинаміки було застосовано придатні математичні моделі, які достовірно їх описують. Як відомо, кінетичні процеси найчастіше протікають за експоненційними законами. Тому саме такі моделі ми вибрали для оброблення отриманих результатів. Результати експерименту наведено

на рис. 4, де графічно показано зміну концентрації тритію залежно від тривалості експерименту для кожного з рівнів відбирання проб (см).

З графіка видно, що концентрація тритію на межі шарів майже відразу вирівнюється до рівноважної (C_{eq}), яка становить половину від вихідної концентрації ($C_{\text{eq}} = C_{\text{init}}/2 = 12\,230$ Бк/л) і надалі майже не змінюється. Графік накопичення тритію на рівні +2 см та на рівні 0 см описується експоненційним рівнянням:

$$C = Ae^{-k_1 t} + Be^{-k_2 t}, \quad (1)$$

де C – концентрація тритію (Бк/л), $A+B$ – початкова концентрація тритію (Бк/л), k_1 , k_2 – константи швидкості процесу дифузії тритійованої води із шару легкої води в розсіл галіту (с^{-1}) ($K_{\text{кор}} > 0,93$).

Графік накопичення тритію на рівнях -2, -7 та -14 см описується рівнянням $K_{\text{кор}} > 0,94$, графічна інтерпретація якого є дзеркальним відбиттям рівняння (1):

$$C = A(1 - e^{-k_1 t}). \quad (2)$$

Розраховані за допомогою програми STATISTICA методом ітерації параметри цих процесів зведено в табл. 1.

Апроксимовані експоненційні моделі концентрації тритію для кожного з рівнів (рис. 4) дають змогу розрахувати лінійну швидкість дифузії тритію (тобто момент, коли концентрація тритію тільки починає перевищувати фон 10 Бк/л) у глибину розсолу. Згідно із зазначеними моделями, тритій з межі розділення фаз (0 см) досягає рівня -2 см ($y = 10$ Бк/дм³) за 0,053 доби (1,26 год), рівня -7 см – за 3,3 доби та рівня -14 см – за 15,1 доби. Графічно така залежність добре описується лінійною моделлю $K_{\text{кор}} = 0,97$ (рис. 5):

$$H = 1,1 \cdot t - 3,1, \quad (3)$$

де H – глибина розсолу (см), t – тривалість експерименту (доба).

Як видно з наведеного графіка, середня швидкість дифузії тритійованої води (самодифузії) у глибину розсолу становить 1,1 см/добу.

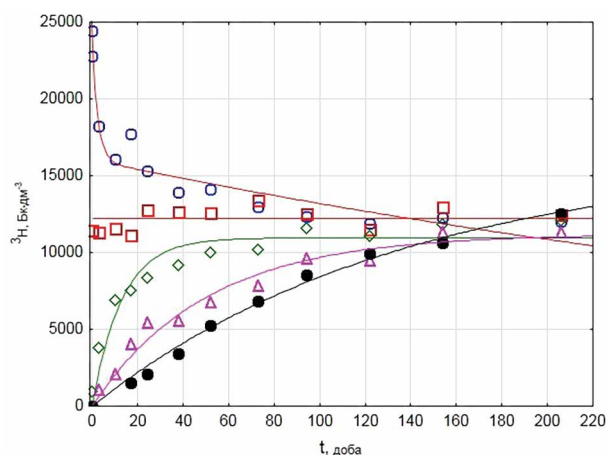


Рис. 4. Швидкість дифузії тритієвої води у розсіл галіту

Таблиця 1. Параметри зміни концентрації тритію від часу експерименту на різних позначках

Рівень, см	A	B	k_1	k_2	R^2	Рівняння
+2	16030	7661	-0,00195	-0,398	0,93	(1)
0	9298	2904	–	–	0,93	(1)
-2	10958	–	-0,0769	–	0,94	(2)
-7	11201	–	-0,0200	–	0,95	(2)
-14	16314	–	-0,0725	–	0,98	(2)
-14	16314	–	-0,0725	–	0,98	(2)

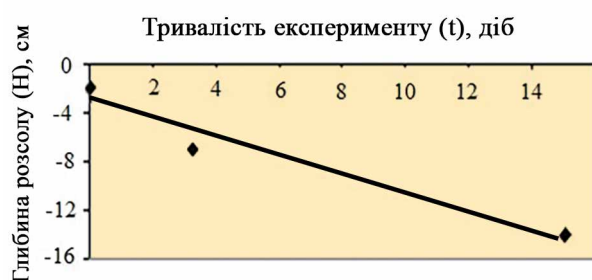


Рис. 5. Швидкість дифузії тритію ($C = 10$ Бк/л) у розсіл галіту

Для розрахунку швидкості дифузії використовують перший закон Фіка (4) [4, 15]:

$$q = \frac{m}{St} = -D \frac{dC}{dx} \quad (4)$$

де q – швидкість дифузії, m – маса речовини, яка проходить через поверхню S за час t , D – коефіцієнт дифузії, dC – градієнт концентрації, dx – градієнт товщини шару (см).

В описаному експерименті S – це площа поперечного розрізу ємності, яка має форму циліндра. Вона становить $337,8 \text{ см}^2$, t – це час від початку експерименту до відбирання певної проби (кількість діб). За досліджуваний прошарок x вибраний шар розсолу, обмежений зверху рівнем 0 см та знизу рівнем -2 см . Таким чином, значення dx є постійним і воно становить 2 см . Градієнт концентрації dC змінюється для кожної проби, але його легко розрахувати з експериментальних даних як різницю концентрацій тритію на рівнях 0 см ($C_{0\text{см}}$) та -2 см ($C_{-2\text{см}}$).

За концентрацію тритію в кожному шарі розсолу береться середнє значення між верхнім і нижнім рівнями. Помножуючи середню концентрацію на площу шару та його висоту, знаходимо кількість тритію в кожному із шарів. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Згідно з експериментальними даними коефіцієнт дифузії тритійованої води у розсіл галіту становить $1,05 \text{ см}^2/\text{добу}$ або $1,21 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$. Якщо порівняти це значення з даними джерел [14], то видно, що отриманий коефіцієнт дифузії досить добре узгоджується з іншими аналогічними експериментами.

У попередніх наших дослідженнях [2], де як мітку використовували метиловий жовтогогарячий, коефіцієнт дифузії води в насичений розсіл галіту оцінено як $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, що майже в $3,5$ рази більше. Хоча різниця оцінок не перевищує

порядку, використання тритійованої води як мітки має великі переваги.

2. Оцінка дифузії гідратованих (у тритійованій воді) іонів. Коли тритійована вода міститься в розсолі (ємність 1), то відбуваються два дифузійні процеси. Під час першого гідратовані іони хлористого натрію дифундують у верхній шар чистої води, під час другого молекули легкої води з верхнього шару дифундують у розсіл. Зазначені процеси проходять до повного вирівнювання всіх концентрацій у всьому об'ємі. Якби не було тритійованої води, то легка вода з розсолу все одно перемішувалася б з водою верхнього шару внаслідок броунівського руху та самодифузії.

Побудовані математичні моделі дають змогу розрахувати дві характеристики, які легко й наочно описують процес дифузії іонів хлориду натрію, гідратованих тритійованою водою, із розсолу в легку (протієву) воду. Перша – це швидкість поширення “фронту” концентрації тритію, котра перевищує фонове значення ($C_t = 10$ Бк/л). Друга – швидкість поширення “фронту” половинної концентрації тритію ($C_{1/2}$), яка становить половину від рівноважної концентрації наприкінці процесу ($C_{1/2} = C_{\text{eq}}/2 = 10611/2 = 5305$ Бк/л).

Розрахунки засвідчили, що для рівнів $2, 7$ та $12,8 \text{ см}$ час, коли досягається перевищення фонові концентрації, становить відповідно $0,0782; 1,03$ та $1,7$ доби, а значення половинної концентрації $C_{1/2}$ досягається за $4,0; 33,84$ та $52,39$ доби.

Обидві залежності добре описуються лінійними моделями (рис. 6), хоча кути їхнього нахилу дуже різняться. Це означає, що швидкість поширення певної фіксованої концентрації тритію з розсолу по шарах дистильованої води

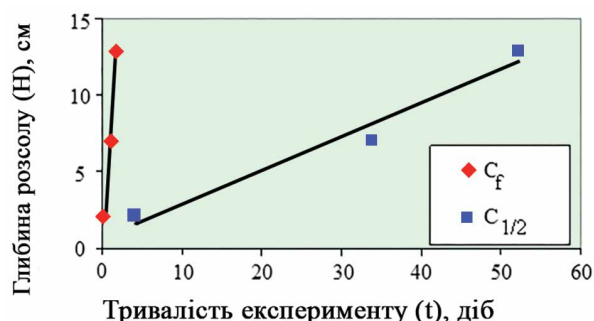


Рис. 6. Швидкість поширення фронту концентрацій тритію: $C_t = 10$ Бк/л та $C_{1/2} = 5305$ Бк/л із розсолу галіту в дистильовану воду

Таблиця 2. Розраховані значення градієнта концентрації та швидкості дифузії тритію

	Рівень відбирання проб, см						
	Вода	Межа	Розсіл				
Тривалість експерименту, діб	2	0	-2	-7	-14	dC/dx, Бк/см ⁴	m/St, Бк/см ² × добу
0	24460		0	0	0		
0,04	22793	11444	946	0	0	5,64	56,78
3	18204	11336	3815	1057	0	4,21	5,29
10	16058	11571	6925	2069	0	2,65	2,97
17	17704	11148	7544	4037	1497	2,34	2,84
24	15343	12765	8379	5446	2125	1,93	2,54
38	13910	12653	9168	5580	3443	1,53	1,80
52	14133	12597	10010	6771	5234	1,11	1,61
73	12992	13447	10184	7839	6837	1,02	1,32
94	12377	12522	11570	9635	8572	0,33	1,24
122	11882	11515	11109	9497	9936	0,56	0,98
154	12258	12956	11818	11336	10609	0,21	0,87
206	12013	12486	12081	11345	12561	0,07	0,69

відбувається рівномірно й лінійно, але кожній конкретній концентрації притаманна власна швидкість. Найшвидше поширюється фронт перевищення фонові концентрації (6,56 см/добу), лінійне поширення фронту половинної концентрації відбувається майже в 30 разів повільніше (0,22 см/добу).

Якщо порівняти отримані результати, швидкість дифузії гідратованих іонів хлориду натрію (6,56 см/добу), оцінена за швидкістю переміщення фронту фонові концентрації тритію, майже вшестеро перевищує швидкість самодифузії води в розсіл (1,1 см/добу). Водночас оцінені лінійні швидкості руху фронту половинної концентрації тритію збігаються (0,22 та 0,23 см/добу відповідно та 0,23 см/добу відповідно).

Для розрахунку швидкості дифузії гідратованих (у тритійованій воді) іонів також використовують наведений вище (4) перший закон Фіка. Потрібно визначити кількість тритію m , яка проходить через поверхню S за час t . Ця величина складається із суми кількості тритію, що розміщується в шарі $+2...+7$ см і шарі $+7...+12,8$ см.

За концентрацію тритію в кожному шарі розсолу береться середнє значення між верхнім і нижнім рівнями. Помножуючи середню концентрацію на площу шара та його висоту, знаходимо кількість тритію в кожному із шарів. Результати розрахунків наведено в табл. 3.

Згідно з експериментальними даними коефіцієнт дифузії D тритійованої води із розсолу галіту становить $0,5717 \text{ см}^2/\text{добу}$ або $6,62 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$, що в 1,83 раза менше за коефіцієнт дифузії прямого процесу (третійованої води у розсіл) $D = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$.

Якщо узагальнити всі отримані експериментальні результати за методом найменших квадратів, то можна побудувати тривимірний графік розподілу концентрації тритію залежно від тривалості дифузії та рівня її поширення (рис. 7).

Як відомо, площа Домбровського кар'єру становить 180 га [2], а сумарна концентрація солей на його поверхні, за даними ДПНДІ "Галургія", у 2020 р. становила 60 г/л. Швидкість дифузії води на глибину 100 м розсолу становитиме:

$$q = D \frac{dC}{dx} = 3,87 \times 10^{-7} \frac{\text{см} \times \text{г}}{\text{м}^3 \times \text{с}}. \quad (5)$$

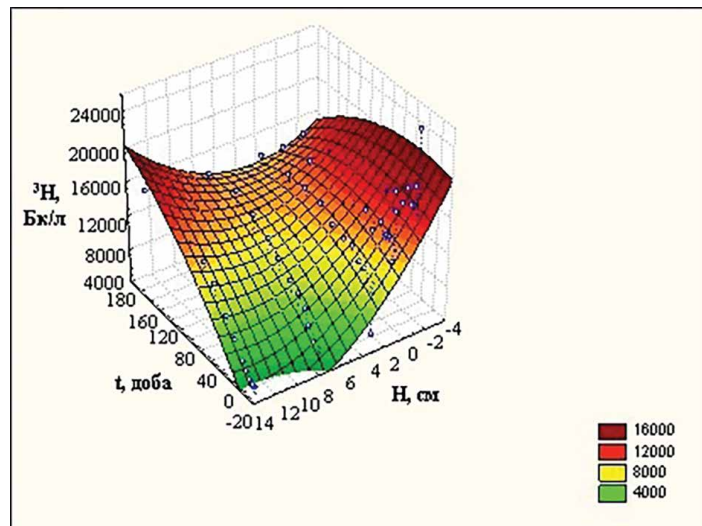


Рис. 7. Математична модель перерозподілу тритію в процесі експерименту

Маса води, яка за один рік продифундує на глибину 100 м через усю площу кар'єру (180 га), становитиме:

$$m = qSt \approx 220 \text{ тис. т}, \quad (6)$$

що відповідає нашій попередній оцінці за експериментальними даними, отриманими фотоколориметричним методом із застосуванням органічного барвника – метилового жовто-гарячого [2].

Висновки

Експериментально з'ясовано, що градієнт температури (20 °C) істотно впливає на швидкість масоперенесення в товщі розсолу. Імовірно це відбувається внаслідок конвекційно-дифузійних процесів.

З використанням ізотопної мітки обчислено коефіцієнт самодифузії води в насичений розсіл галіту, який становить $1,21 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, і зворотного процесу дифузії гідратованих (у тритійованій воді) іонів із насиченого розсолу галіту в легку (протіву) воду, що становить $6,62 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$. Експериментально визначені величини корелюють із коефіцієнтами дифузії води в органічних розчинниках, як-от: анілін, етиленгліколь, гліцерин ($1,21 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$).

Експериментально визначено швидкість поширення концентраційного фронту тритію за фонові та половинної кон-

Таблиця 3. Розрахункові значення градієнта концентрації та швидкості дифузії тритію

Тривалість експерименту, діб	Рівень відбирання проб, см					dC/dx Бк/см ⁴	m/St Бк/см ² ×добу
	Вода			Межа	Розсіл		
	+12,8	+7	+2	0	-2		
0	32	54	280	13734	21878		
0,04	50	139	3080	7765	15387	5,17	25,96
3	183	1339	5651	10179	12952	3,77	2,86
10	778	3040	7064	10036	14538	2,48	2,19
17	1600	4503	7568	11207	12429	1,77	2,14
24	3338	5566	8680	9409	13031	1,52	1,99
38	5168	6389	8759	10942	12280	0,97	1,62
52	7616	7670	9027	10167	12030	0,93	1,37
73	9067	8907	10573	10584	11961	0,79	1,18
94	9096	9941	10690	10322	11677	0,02	1,07
122	10512	10996	10695	11329	11279	-0,04	0,88
154	11065	10322	10105	10158	10939	-0,04	0,76
206	32	54	280	13734	21878	0,25	0,55

центрацій. Дифузія гідратованих (у тритійованій воді) іонів хлориду натрію відбувається (1,1 см/добу) ушестеро повільніше, ніж самодифузія тритійованої води в розсіл (6,56 см/добу). Побудовано математичну модель, що описує зазначені дифузійні процеси.

Отже, у разі взаємодії води з розсолон хлориду натрію на межі фаз відбуваються два протилежно спрямовані дифузійні процеси: самодифузія води з верхнього шару в розсіл і дифузія гідратованих іонів хлориду натрію з розсолу вгору в шари прісної води. Отримані дані є підставою для оцінювання швидкості перемішування води, яка міститься в розсолі, із чистою водою над ним. Крім того, з огляду на близькість значень коефіцієнта дифузії води та хлористого натрію, наведені математичні моделі дають змогу додатково оцінити швидкість надходження солі з розсолу на поверхню води. У такий спосіб можна розрахувати швидкість переміщення солей із глибини Домбровського кар'єру на його поверхню. Водночас прісна вода, яка надходить на поверхню рідкого тіла наповнення кар'єру, дифундує внаслідок самодифузії в нижні шари розсолу.

Результати, які ми отримали в цій праці із застосуванням ізотопної мітки, добре узгоджуються з раніше отриманими результатами із застосуванням барвника. Отже, впродовж року від поверхні до дна кар'єру надходить понад 200 тис. т прісної води, котра здатна додатково розчинити понад 100 тис. т солей рудного тіла й уміщувальних порід.

ЛІТЕРАТУРА

- Багрий С. М., Бучинський В. А., Денисюк Р. П., Штогрин М. В. Стан розвитку природно-техногенного карсту на Стебницькому калійному родовищі (за геофізичними даними)//Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2002. – № 4. – С. 93–94.
- Бобков В. М., Долін В. В. Кінетика низхідного потоку води у насичений розсіл галіту//Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2014. – Вип. 23. – С. 123–130.
- Боднар Г. В. Стан екологічної ситуації на Калуш-Голінському родовищі на стадії ліквідації//Екологія і ресурси. – 2007. – Вип. 17. – С. 42–46.
- Бретишайдер С. Свойства газов и жидкостей. Инженерные методы расчета: пер. с польск./Под ред. П. Г. Романкова. – М.–Л.: Химия, 1966. – 535 с.
- Гайдін А. М. Озеро в Домбровському калійному кар'єрі//Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2011. – № 2 (4). – С. 55–62.
- Гайдін А. М., Дяків В. О. Домбровське озеро: прогнози і факти//Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2012. – № 2 (6). – С. 72–77.
- Гайдін А. М., Дяків В. О. Прісне озеро на місці соляного кар'єру//Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки. – 2010. – № 17. – С. 86–90.
- Гайдін А. М., Дяків В. О. Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру//Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2010. – № 7. – С. 50–64.
- Крижанівський Є. І., Кузьменко Е. Д., Палійчук М. В., Бараненко Б. Т. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла//Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу. – 2008. – № 2. – С. 3–9.
- Кузьменко Е. Д., Багрий С. М., Вдовина О. П., Хмара І. Є., Бараненко Б. Т. Ефективність комплексного підходу при геофізичному вивченні карстових процесів над відпрацьованими шахтними полями родовищ кам'яної та калійної солі//Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 4 (25). – С. 41–49.
- Кузьменко Е. Д., Багрий С. М., Вдовина О. П., Штогрин М. В., Бучинський В. А. Комплекс геофізичних методів прогнозування розвитку соляного карсту в Передкарпатті//Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія “Геологія”. – Вип. 26–27. – С. 43–50.
- Кузьменко Е. Д., Багрий С. М., Штогрин Н. В. К вопросу картирования соляного карста в Закарпатье//Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2003. – № 6. – С. 82–87.

13. Менделеев Д. И. Исследование водных растворов по удельному весу. – СПб, 1887. Цитруется за изданиям: Менделеев Д. И. Растворы. – Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 1165 с.

14. Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия/Под ред. проф. С. А. Симанова. – С.-Пб.: АНО НПО “Профессионал”, 2004. – 838 с.

15. Рудобашта С. П., Карташов Э. М. Диффузия в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1993. – 208 с.

16. Рудько Г. І., Шкіца Л. Є. Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття//Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2001. – № 5–6. – С. 68–71.

17. Malkova Y., Dolin V., Yakovlev Y. Formation regularities of liquid body of Dombrovsky quarry//Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020 (1), 1–5.

REFERENCES

- Bahrii S. M., Buchynskiy V. A., Denysiuk R. P., Shtohryn M. V. State of the natural-technogenic karst development on Stebnitskiy potash deposit (on geophysical data)//Naukovyi visnyk Natsionalnoi hirnychoi akademii Ukrainy. – 2002. – № 4. – P. 93–94. (In Ukrainian).
- Bobkov V. M., Dolin V. V. Kinetics of descending water flow in saturated halite brine//Zbirnyk naukovykh prats Instytutu heokhimii navkolyshnoho seredovyshcha. – 2014. – Iss. 23. – P. 123–130. (In Ukrainian).
- Bodnar H. V. State of environmental situation at Kalush-Golinsky deposit in the process of liquidation//Ekolohiia i resursy. – 2007. – Iss. 17. – P. 42–46. (In Ukrainian).
- Bretschneider S. Properties of gases and liquids. Engineering methods of calculation. – Moskva–Leningrad, 1966. – 535 p. (In Russian).
- Haidin A. M. Lake in Dombrovsky potash pit//Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. – 2011. – № 2 (4). – P. 55–62. (In Ukrainian).
- Haidin A. M., Diakiv V. O. Dombrovsky lake: prognoses and facts//Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. – 2012. – № 2 (6). – P. 72–77. (In Ukrainian).
- Haidin A. M., Diakiv V. O. Freshwater lake at the salt quarry place//Naukovyi visnyk Volynskoho natsionalnoho universytetu im. Lesi Ukrainky. – 2010. – № 17. – P. 86–90. (In Ukrainian).
- Haidin A. M., Diakiv V. O. Conditions of the fresh-water thickness formation in the lake at the place of the salt pit//Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylyehlykh terytorii. – 2010. – № 7. – P. 50–64. (In Ukrainian).
- Kryzhanivskiy Ye. I., Kuzmenko E. D., Palichuk M. V., Baranenko B. T. Technogenic situation in the area of the Kalush industrial node//Nauk. visn. Ivano-Frank. nats. tekhn. un-tu nafty ta hazu. – 2008. – № 2. – P. 3–9. (In Ukrainian).
- Kuzmenko E. D., Bahrii S. M., Vdovyna O. P., Khmara I. Ye., Baranenko B. T. Efficiency of the complex approach at geophysical study of the karst processes over the worked-out mine fields of the rock and potash salt deposits//Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – 2007. – № 4 (25). – P. 41–49. (In Ukrainian).
- Kuzmenko E. D., Bahrii S. M., Vdovyna O. P., Shtohryn M. V., Buchynskiy V. A. Complex of geophysical methods to predict the development of salt karst in Transcarpathia//Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu im. Tarasa Shevchenka. Seriya “Heolohiia”. – Iss. 26–27. – P. 43–50. (In Ukrainian).
- Kuzmenko E. D., Bagrij S. M., Shtohryn N. V. To the question of the salt karst mapping in Transcarpathia//Naukovyi visnyk Natsionalnoi hirnychoi akademii Ukrainy. – 2003. – № 6. – P. 82–87. (In Russian).
- Mendelev D. I. Investigation of the water solutions by specific weight. – SPb, 1887. Tsytuetsia za vydanniam: Mendelev D. I. Rastvory. – Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1959. – 1165 p. (In Russian).
- New handbook of chemist and technologist. Electrode processes. Chemical kinetics and diffusion. Colloid chemistry//Pod red. prof. S. A. Simanova. – Sankt-Peterburg: ANO NPO “Professyonal”, 2004. – 838 p. (In Russian).
- Rudobashta S. P., Kartashov Ye. M. Diffusion in chemical and technological processes. – Moskva: Himiya, 1993. – 208 p. (In Russian).
- Rudko H. I., Shkitsa L. Ye. Technogenic-ecological safety of the Prikarpatya salt mining complexes//Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiedialnosti. – 2001. – № 5–6. – P. 68–71. (In Ukrainian).
- Malkova Y., Dolin V., Yakovlev Y. Formation regularities of liquid body of Dombrovsky quarry//Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020 (1), 1–5.

Рукопис отримано 20.09.2020.

УДК 553.98

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.28-38>

О. Ю. ЛУКІН, академік НАН України, д-р геол.-мінерал. наук, професор, завідувач відділу (Український державний геологорозвідувальний інститут), lukin_alexander@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>,
І. П. ГАФІЧ, канд. геол.-мін. наук, директор з розвідки та перспективного розвитку (ДТЕК Нафтогаз), gafichip@dtcc.com,
Г. Г. ГОНЧАРОВ, завідувач сектору (Український державний геологорозвідувальний інститут), gggmorion@ukr.net,
В. В. МАКОГОН, канд. геол. наук, завідувач сектору (Український державний геологорозвідувальний інститут), vlvlm@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5810-517X>,
Т. М. ПРИГАРИНА, канд. геол.-мінерал. наук, головний геолог (Український державний геологорозвідувальний інститут), prig55@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0256-9319>

O. LUKIN, academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), professor, head of division (Ukrainian State Geological Research Institute), lukin_alexander@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>,
I. GAFYCH, PhD (Geol. & Mineral.), exploration and prospective development director (DTEK Oil and gas), gafichip@dtcc.com,
G. GONCHAROV, sector leader (Ukrainian State Geological Research Institute), gggmorion@ukr.net,
V. MAKOGON, PhD (Geol.), sector leader (Ukrainian State Geological Research Institute), vlvlm@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5810-517X>,
T. PRYGARINA, PhD (Geol. & Mineral.), principal geologist (Ukrainian State Geological Research Institute), prig55@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0256-9319>

ВУГЛЕВОДНЕВИЙ ПОТЕНЦІАЛ НАДР УКРАЇНИ ТА ГОЛОВНІ НАПРЯМИ ЙОГО ОСВОЄННЯ

HYDROCARBON POTENTIAL IN ENTRAILS OF THE EARTH OF UKRAINE AND MAIN TREND OF ITS DEVELOPMENT

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

У статті схарактеризовано сучасний стан вуглеводневої бази України – однієї з небагатьох країн-піонерів у сфері нафтогазової геології та індустрії. На сьогодні діапазон нафтогазоносності держави майже повністю відповідає глобальним показникам. Першочерговими завданнями геологорозвідувальних робіт на нафту й газ є дорозвідка великих родовищ і реанімація продуктивних горизонтів із використанням новітніх методів. Однак головні перспективні напрями пов'язані з освоєнням вуглеводневого потенціалу в рифогенно-карбонатних комплексах (РКК), глибокозанижених відкладах, кристалічному фундаменті, неантиклінальних пастках у піщаних тілах, а також нетрадиційних джерел вуглеводнів. РКК можуть містити досить великі родовища у відкладах турнейського та візейського ярусів Східного нафтогазового регіону України. З групами барових тіл пов'язані відкриті в Дніпровсько-Донецькій западині газоконденсатні родовища із чималими запасами. Загальна оцінка 0,5 умовних одиниць палива є мінімальною для прогнозних ресурсів ВВ у піщаних тілах різновікових поліфазіальних комплексів нафтогазоносних регіонів України. Підтверджено наявність суперколекторів – інтервалів інтенсивної тріщинуватості й кавернозності в зонах сучасних тектонічних напруг. За низкою критеріїв інтервали розуцільнених колекторів дуже поширені на глибинах 5–7 км. На багатьох родовищах з них отримано великі стійкі дебіти газу. Надзвичайно великими є можливості освоєння вуглеводневого потенціалу різновікового й передусім докембрійського кристалічного фундаменту. Нафтогазоносні регіони України, насамперед Східний, у перспективі є невичерпними джерелами нетрадиційного природного газу (сланцевого та центральнобасейнового), пов'язаного з малопроникними теригенними колекторами. Не варто забувати й про майже невичерпні альтернативні джерела природного газу (метан, розчинений у підземних водах і чорноморських газогідратах).

Ключові слова: вуглеводневий потенціал, родовища нафти й газу, колектори, пастки.

The article deals with the current state of mineral and raw hydrocarbon base of Ukraine. The main promising directions of geological exploration for oil and gas are identified and determined: in reef-carbonate complexes, deep-seated petroliferous complexes, crystalline basement, non-anticlinal traps in sandy bodies, non-traditional HC sources.

Keywords: hydrocarbon potential, oil and gas fields, reservoirs, traps.

Ukraine are among of very limited number of countries-pioneers in the petroleum geology and hydrocarbon industry fields. There is no line in development of oil and gas (from prospecting and exploration on land and sea and different technical problems – up to and including oil and gas transport, building of gas-holders and so on), where Ukraine was not among pioneers. And at the present time in spite of long-term intensive mining, hydrocarbon potential of Ukraine is sufficiently powerful. In this respect the very significant is the fact that all ranges of oil and gas bearingness practically completely correspond to the Worlds ranges. So, the stratigraphic range of petroliferous formation in Ukraine is from pre-Cambrian to Pliocen including. Ukraine hydrocarbon and bitumen accumulation reservoirs are represented with all known sedimentary rocks and facies. The depth interval

of commercial hydrocarbons pools distribution varies from first hundred meters almost to 7 km and apparently more than 8 km.

Deep petroliferous basins in Ukraine various from typically paleorift to subduction and accretion types.

Phase-geochemical diapason includes all known in the World types of hydrocarbons natural systems: from all kinds of natural bitumens and heavy oils to various gas-condensates (including pools of critical state) and all types of hydrocarbon gases. To this should be added that Ukrainian oils gascondensates and gases are distinguished with high quality and not contained admixed toxically components.

The oil-and-gas promising territories in Ukraine occupy about 80 % of total Ukrainian territory. Three petroliferous regions are known in our country (fig. 1):

– Eastern (Dnieper-Donets) region including Dnieper-Donets depression with adjacent monoclinical slopes of the

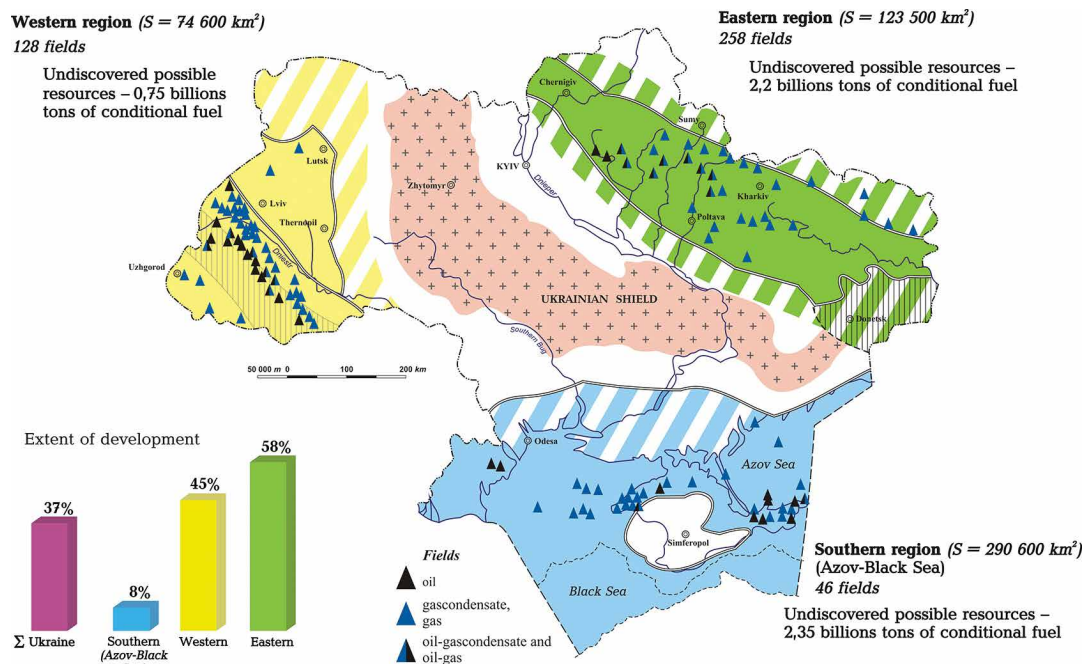


Fig. 1. Petroliferous regions of Ukraine

Voronezh crystalline massive and the Ukrainian shield, and also ukrainian segment of Donets basin;

– the Western region includes together with pre-Carpathian foredeep and Transcarpathian deep, Lviv Paleozoic deep and Volyno-Podolian outskirts of East-European platform;

– the Southern (Azov-Black sea) region is the most geotectonically-heterogenous (it includes the southern slope of Ukrainian shield, Pre-Dobrogean, Indol-Kuban and Northern Azov deeps, Karkinit-Northern Crimean-deep, North-Western and pre-Kerchian shelves of the Black sea).

The degree of development of hydrocarbon resources of the Eastern region achieves 58 %. 252 oil, gascondensate, gas and heterophase fields are discovered here. Nevertheless, this region leads both by unprospected HC resources category $C_1 + D$ (~ 2,2 billions ton of conventional fuel) and by so-called stock of structures (in other words, by number of determined according to geologic-geophysical investigation predicted-prospecting target objects) that account for 326.

124 oil and gas fields are discovered in the Western region.

The degree (stage) of development its hydrocarbon resources run as high as 45 %. Unprospected (undiscovered) resources account for 0,75 billions tons of conventional fuel. The stock of structures (target objects) is 165.

46 oil, gas and gascondensate fields are discovered in the Southern region. The degree of its development run as high as only 8 %, the stock of structures – target objects are 50.

Altogether in Ukraine over the whole preceding period it was extracted near 2 billions tons of conv. fuel. The amount of unprospected (undiscovered) HC resources (by category $C_1 + D$) is 5.3 billions tons of conv. fuel. This assessment is particularly minimal because it does take account a number of considerable promising lines of oil and gas prospecting. But even this the most reliable and justified part of the predicted HC resources is more than twice as large as the cumulative extraction of hydrocarbons from geological formation of Ukraine. And this is only part of the potential HC resources.

It is precisely potential resources characterize HC potential of geological formation of Ukraine. Indicated 5.3 billions ton of conv.

fuel are those that are provided by above mentioned stock of structures (target objects). These are far from distinct anticline structures as it was in the past but and geophysics (particularly seismic) prospecting are quite another. The total stock of such target objects are sufficiently large. Their number is above 540 objects.

Top priority task is additional prospecting of the largest fields (fig. 2) and reanimation of exsouted productive reservoirs by the application of present-day methods. But the main strategic trends are connected with prospecting of reef-carbonate complexes and local bodies, deep and superdeep (more than 5,5–6 km) horizons, nontraditional and alternative resources.

Reef-carbonate complexes of Ukraine are very promising for oil and gas. The world's characteristics of HC resurces testify that not only for oil but also for gas and condensate by no means less than the HC resources of terrigenous reservoirs. It is sufficient to mention that the most gas fields connected with Permian and Triassic (South Pars) and Jurassic (Iolotan) carbonate formations.

Carbonate formations of various geological age play great role in Eastern, Western and especially Southern petroliferous regions. Their HC potential are proved, but their degree of development of their potential HC resources no more than 10 %. The main part of carbonate reservoirs resources doesn't appears in those 5,3 billions of conv. fuel. Ukrainian because ukrainian petroleum geologists and geophysics had been for many years under wrong impression that carbonate formations are tight “plates” (Visean “plate”, Bashkirian “plate” an so on) and play the role of regional oil-gas proof thicknesses. But closer examination of them allowed to establish and mapped a

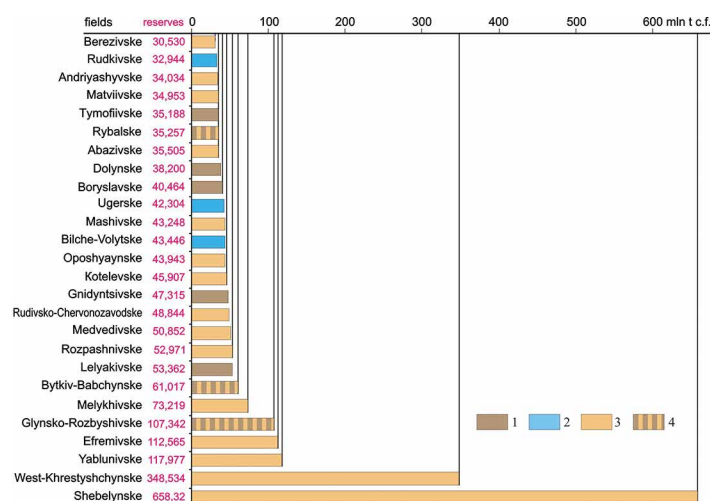


Fig. 2. Fields of Oil and Gas-bearing Regions of Ukraine with recoverable reserves from 30 to 700 million tons of Hydrocarbons
1 – oil; 2 – gas; 3 – gas-condensate; 4 – oil-gas-condensate

number of barrier-reef zones and megatolls in the Devonian (fig. 3, 4), Lower Carboniferous (fig. 5, 6) and Lower Permian of Dnieper-Donets depression; in upper Jurassic of Pre-Carpathian foredeep (fig. 7) in the Silurian Volyn-Podolian (fig. 8) in upper Jurassic of the Azov-Black sea region (fig. 9). There are plausible evaluations for separate segments of reef-carbonate

complexes. Minimal summary assessment of those segments is above 5 billions tons of conventional fuel. It should be emphasized that great fields may be connected with carbonate reservoirs (fig. 10 – for example). The number of such target objects are sufficiently great.

Non-anticline terrigenous traps. Their prospecting is very important separate trend of exploration for oil and gas pools and development of HC potential in all petroliferous regions of Ukraine. Non-anticline traps are connected substantially with various types of sandstone bodies and all of them are distributed in great stratigraphic and sedimentary-facies range in Ukrainian petroliferous region (fig. 11). As experience of old petroliferous provinces (such as Volga-Ural, Midcontinent and

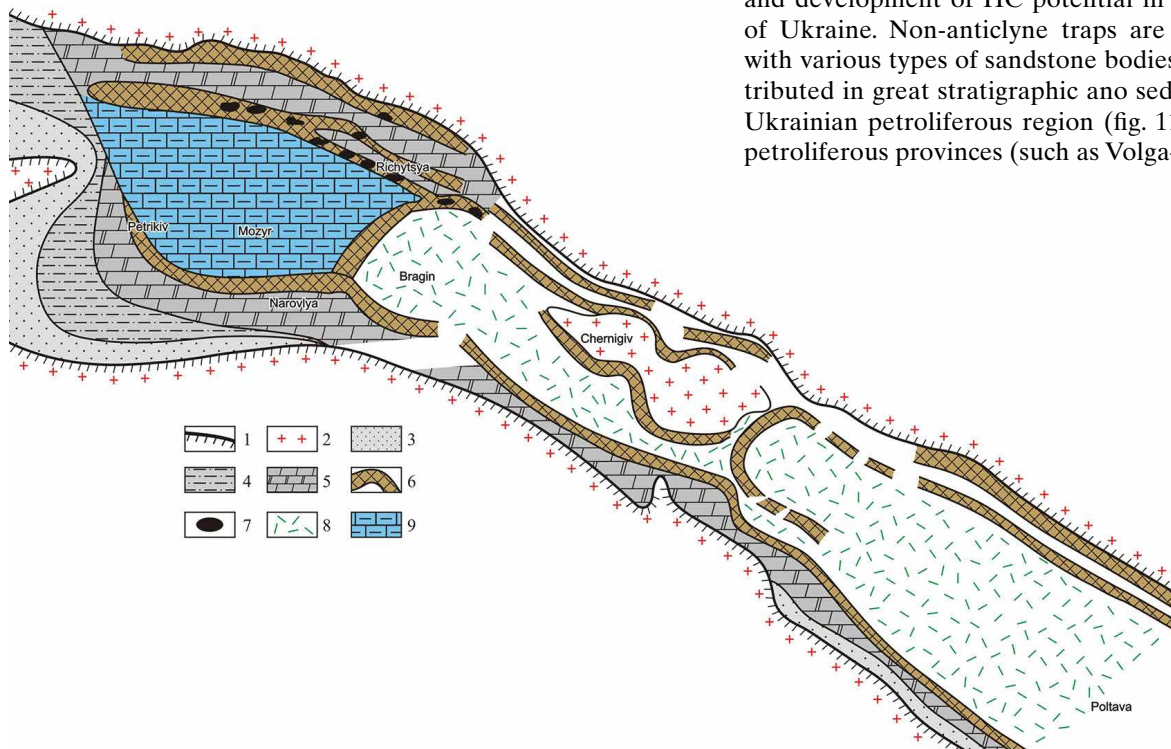


Fig. 3. Schematic map of the distribution of the Lower Famennian reef-carbonate zones in the Pripjat and Dnieper-Donets depressions

1 – boundaries of the distribution of Devonian sediments; 2 – crystalline rocks of the Precambrian basement; 3 – clastic deposits; 4 – sandy-clay deposits; 5 – clay-carbonate deposits; 6 – reef zones; 7 – fields; 8 – volcanic and volcanic deposits; 9 – domonikites

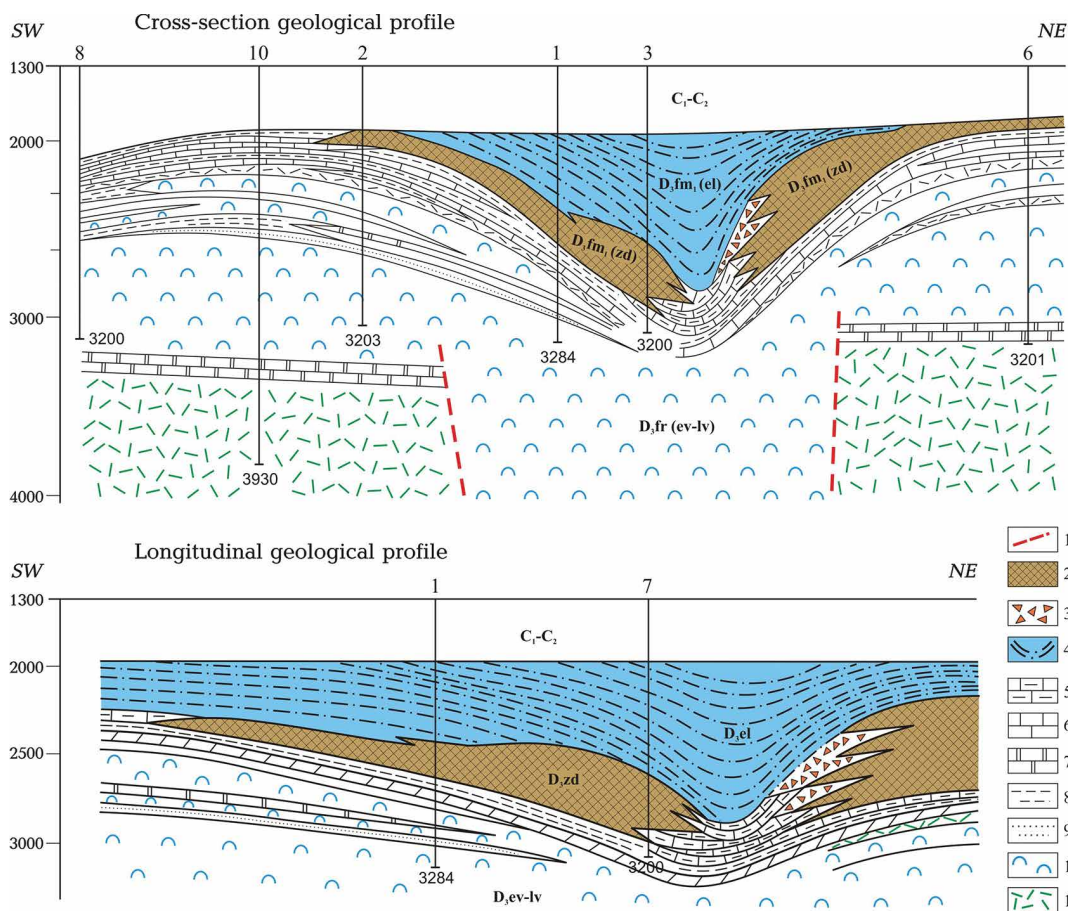


Fig. 4. Zadonsko-Yeletski reefs on the slopes of the Osmakovsky Early Famennian paleo-depression (North at board zone DDD. Borkovska Area)

1 – faults; 2 – zadonski reef-carbonate bodies; 3 – carbonate-clastic deposits of the pre-reef plume; 4 – eletski flyschoid terrigenous deposits; 5 – depressed dominoids; 6 – limestones; 7 – dolomites; 8 – mudstones; 9 – sandstones; 10 – salt; 11 – volcanics

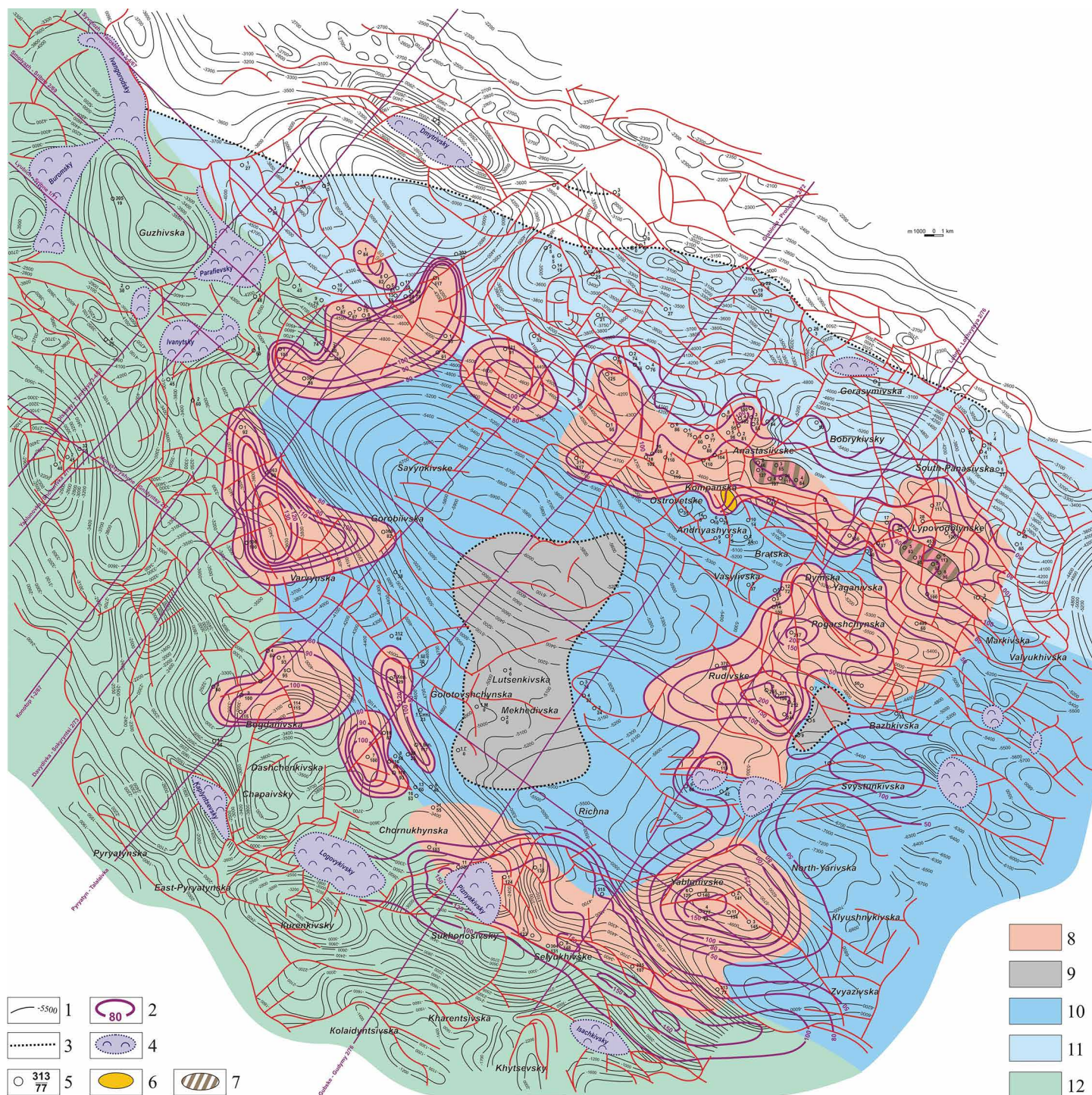


Fig. 5. Sribnensky Lower Visean reef megatoll

1 – isohypses of the reflecting horizons of the Lower Carboniferous; 2 – carbonate thickness of the Lower Visean plate; 3 – wedging line carbonate lower visa; 4 – salt stock; 5 – well number / thickness of carbonate lower visa; HC-deposits in carbonate reservoirs C_{1v1} ; 6 – Gas-Condensate, 7 – Oil (probable); 8 – sites for the development of carbonate organogenic structures and accumulative bodies (bioherm, banks, etc.); 9 – marine depressed terrigenous-siliceous-clay-domanicoid deposits; 10 – marine depressive carbonate-siliceous-domanicoid-clay deposits; 11 – offshore carbonate deposits; 12 – lagoon-shelf terrigenous-carbonate deposits

others) had testified the number of such traps are measured by many hundreds and thousands. Such pools are mainly of small sizes. But they have been clustered by extended zones with considerable proved reserves. The stock of such traps is very considerable. For example, this is sedimentary-paleogeological cross-section Lower-Visean black-shale suit with great number of petroliferous sandstone bodies in Dnieper-Donets basin (fig. 12).

And this cross-section (fig. 13) demonstrates clustering of bars that controlled the zone of intensive gas accumulation (great Abazovo-Sementsovka gas condensate and other fields in Serpukhovian (C_1) facial-cyclic deposits (Dnieper-Donets depression). There are many other examples of HC pools in sand bodies of various types in wide sedimentary-facies range.

Together with elementary sandstone bodies complicated terrigenous bodies of more large size are of wide spreading.

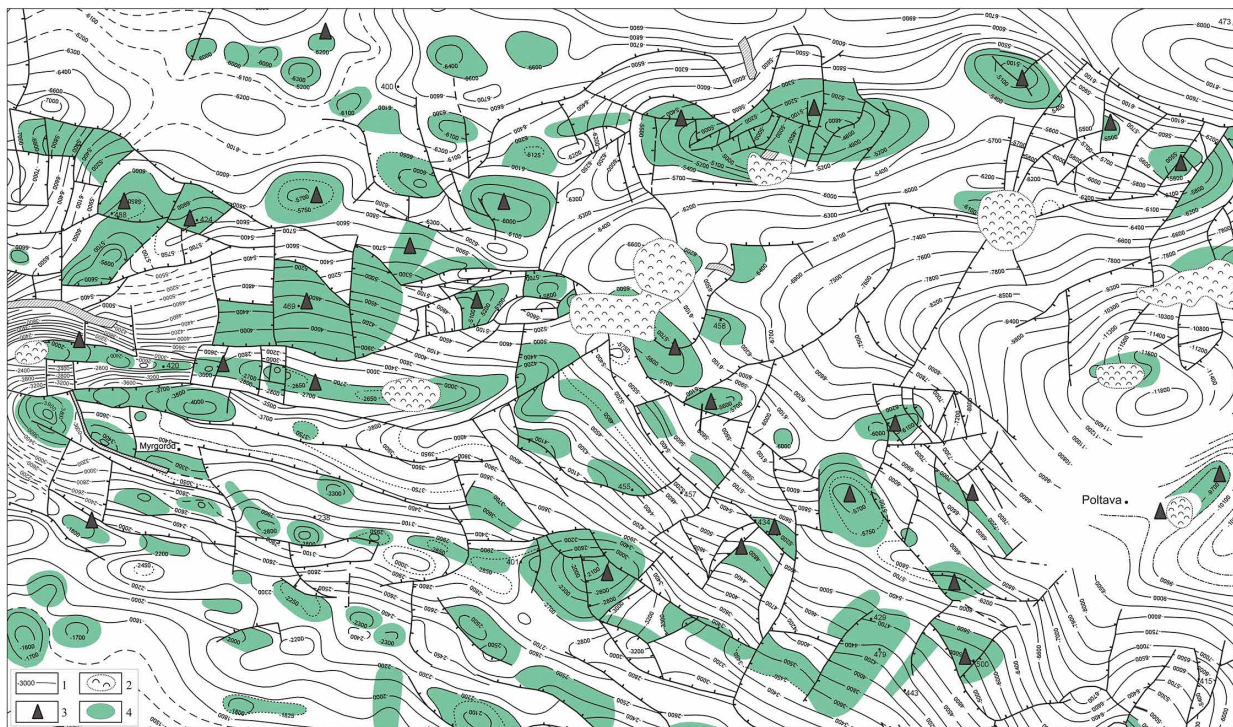
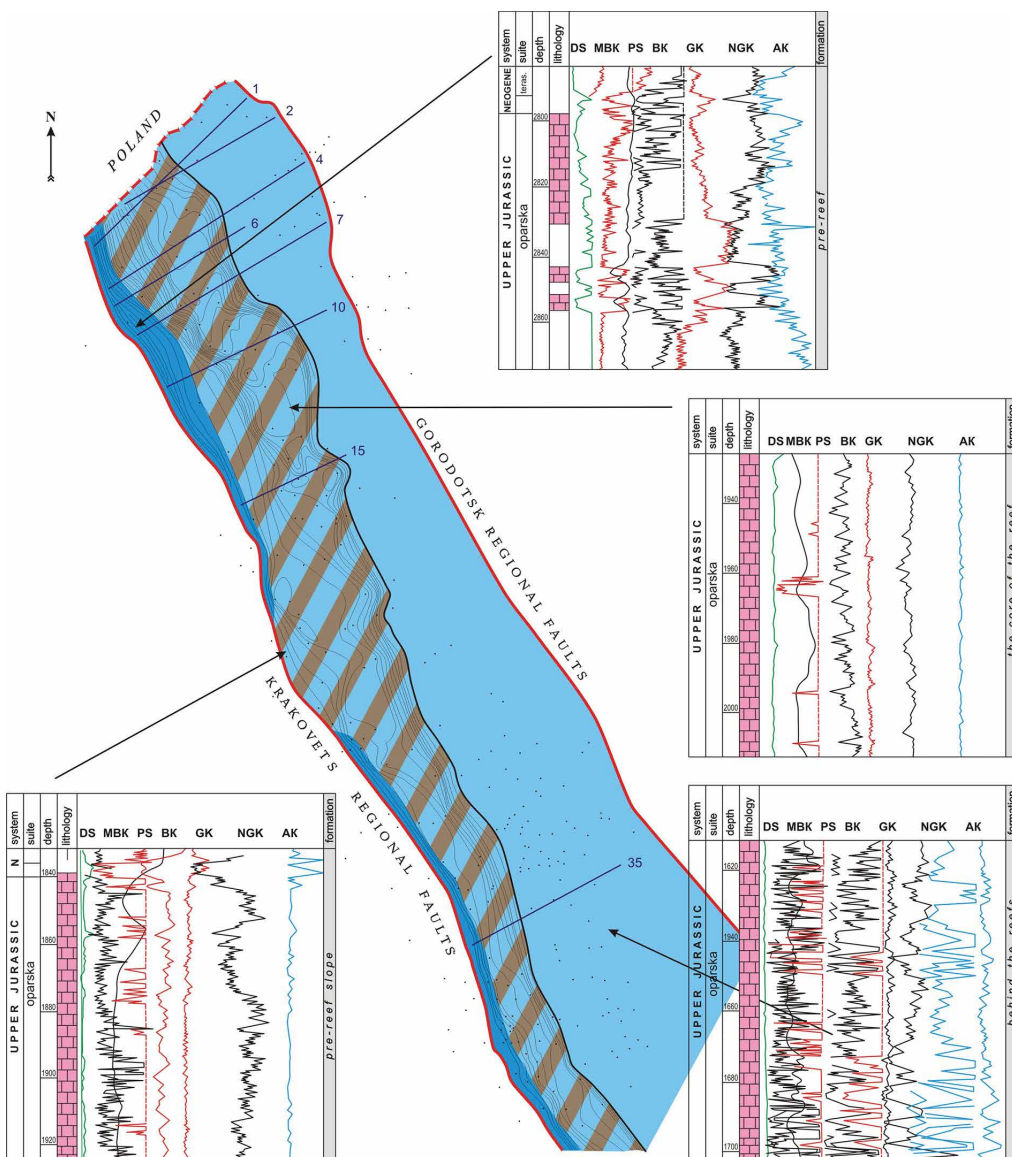


Fig. 6. Prospects for the Oil and Gas potential of the Walsort domes of the central part of the DDD at the depths of more than 5 km

1 – isohypses of the reflecting horizon Vv_{2-n} (by the CDPM seismic data); 2 – salt stocks; 3 – fields with gas-condensate deposits at depths of more than 5 km; 4 – localization sites Walsort domes



Minimal assessment of total HC resources connected with nonanticline traps in terrigenous reservoirs is about 0,5 billion units of conv. fuels (half trillions m^3 of gas or half billions tons of oil).

All above-mentioned types of petroliferous traps are quite traditional in the World, but not completely traditional for Ukraine. So, we have great reserves connected with such pools.

Deep-seated petroliferous complexes. In due time just the great depths had been saved Ukrainian oil-gas exploration branch, oil and gas industry. Moreover, just owing to this line of prospecting and drilling, extraction of natural gas in Ukraine ranges up to about 68–70 billions m^3 per ear (in seventies years of XX century (fig. 14). Tremendous (without any overestimation) ukrainian achievements in development of deep-seated HC pools (particularly discovery of 46 fields – with ~110 gascondensate, gas and also

Fig. 7. Petroliferous Upper Jurassic barrier reef within the North-Western part of the external Pre-Carpathian depression zones. Typical Geophysical Section Characteristics Facial Areas by Data Well Logging

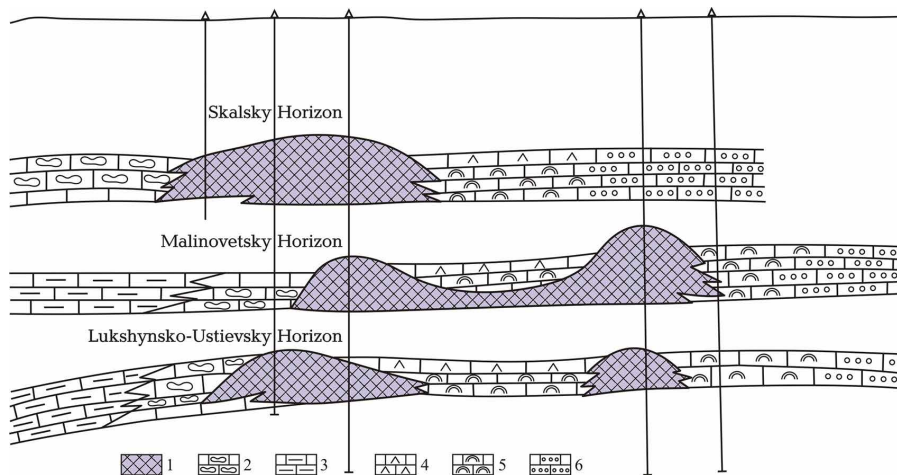


Fig. 8. Silurian Barrier-Reef zones (paleogeomorphological section of the Lokachinsky area)
1 – reef carbonates; 2 – pre-reef clastic-carbonate deposits; 3 – clay limestones; 4 – sulphate-carbonate deposits; 5 – marine limestones and dolomites; 6 – oolitic limestones and calcarenites

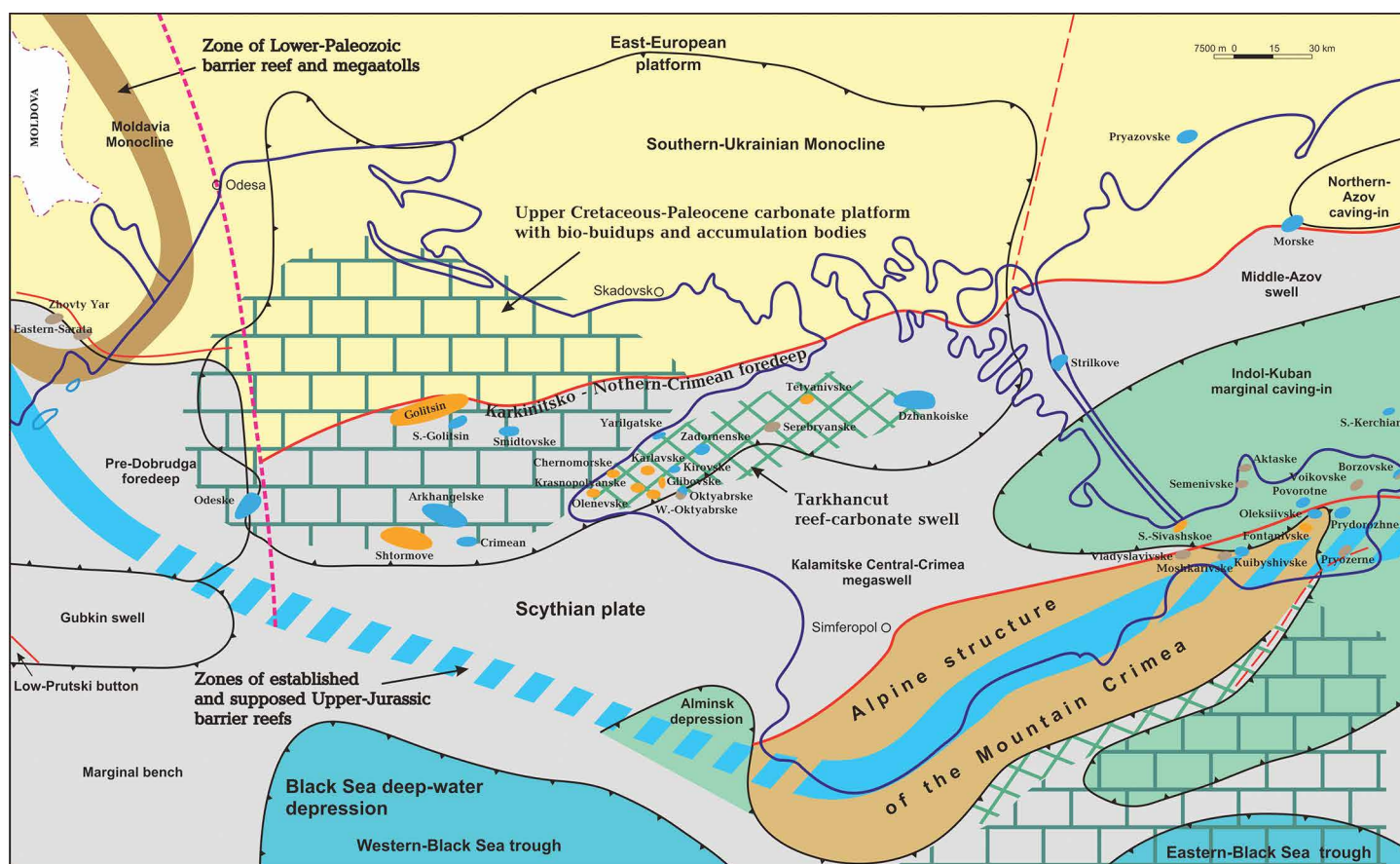


Fig. 9. Reef zones of Southern petrolierous region of Ukraine

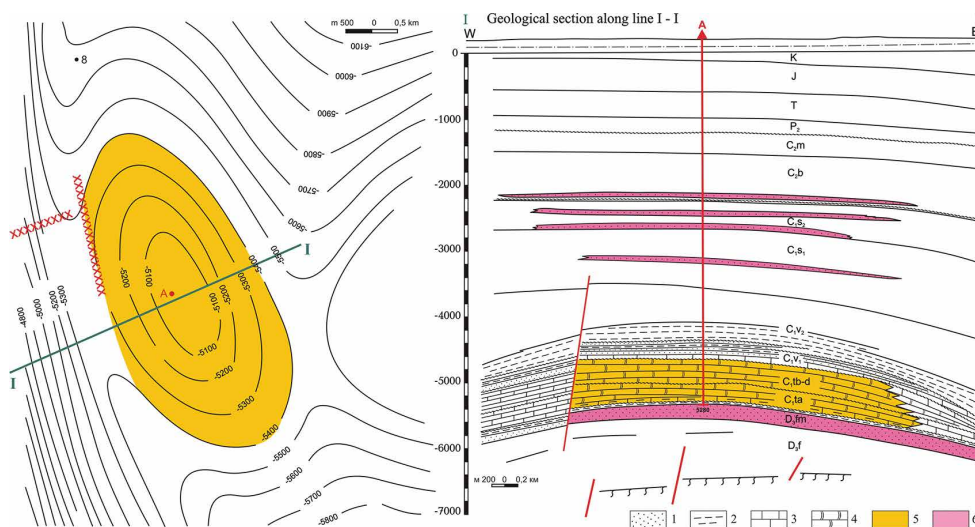


Fig. 10. Great forecast Gas-Condensate field in one of the deep-lying Tournaisian reefs of the DDD
1 – sandstones; 2 – mudstones; 3 – depressive limestones; 4 – reef-carbonate; 5 – forecast gas condensate reservoir; 6 – forecast hydrocarbon deposits

oil-gas pools at the depth more than 5 km) are of great practical and theoretical significance for the present-day mastering of deep and superdeep depths in the World. Just in Ukraine, especially in central part of DDD secondary reservoirs with various manifestations of dilatancy and other types of deconsolidation (fig. 15) were

investigated the most completely just from such deep-seated reservoirs great stable gas debits were obtained.

Presence of superreservoirs – intervals of intensive open fracturing and cavernosity is established within zones of current tectonic stress. Recently, such productive superreservoirs were

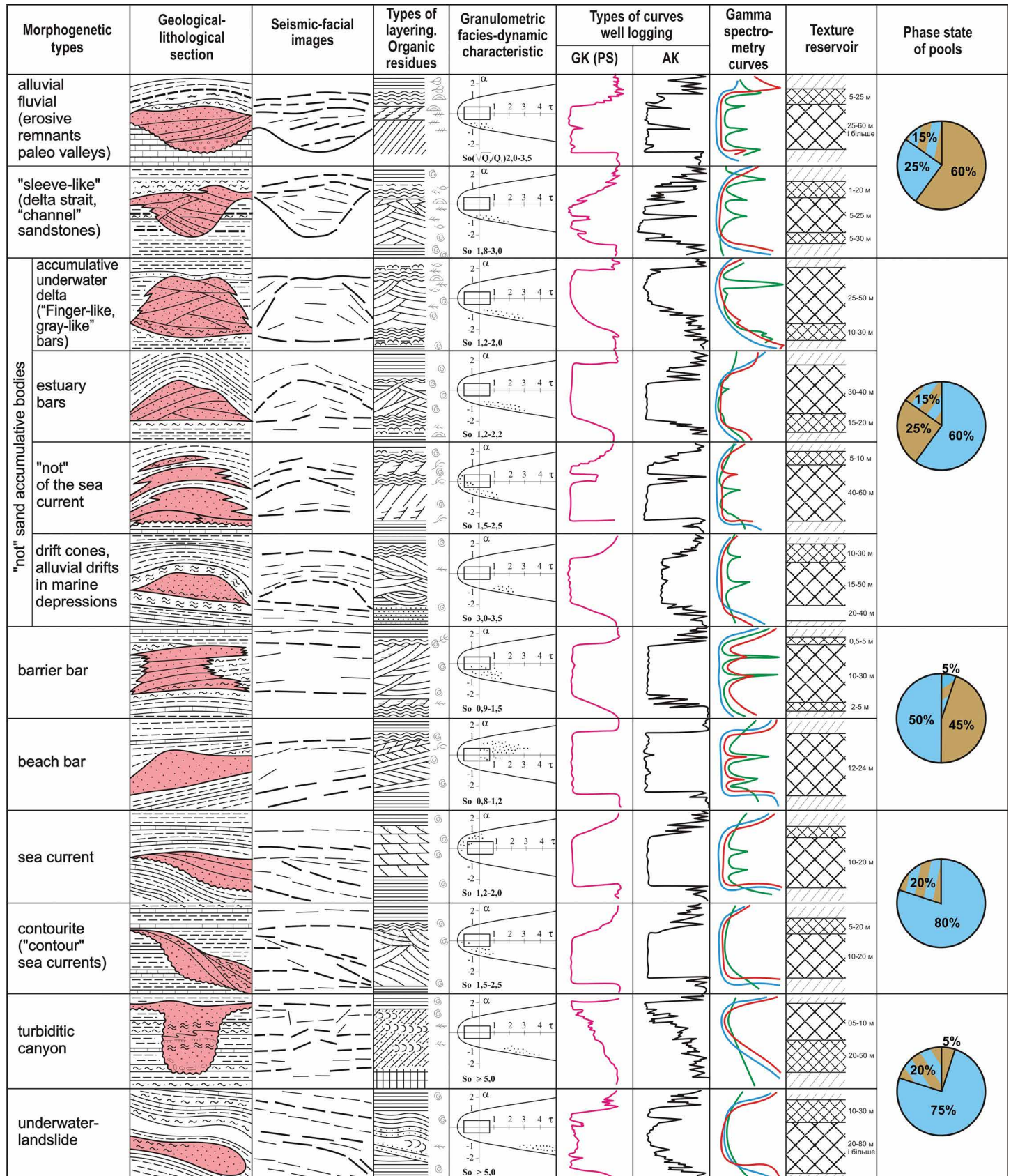


Fig. 11. Main morphogenetic types of terrigenous bodies – hydrocarbons traps

established at the depth more than 6 km in Semirenkivske gas-condensate field (Poltava region, central segment of DDD). Their evidence is self-decomposition of cores into thin discs with condensate and light oil films. According to a set of data such intervals are typical at the depths 5–7 and more kilometers. Deep-seated gas-condensate fields are at the stage of pool accumulation process according thermobaric, hydrogeologic, isotope-geochemical data (fig. 16) with the pace that comparative with velocities of HC-fluid intensive extraction.

Within Poltava-Kharkov segment of the DDD that situated above Dnieper-Donets mantle plume there are localized the bulk part of prospected HC reserves and the most of potential resources of Lower Carboniferous – the main petroleum floor of the Eastern region. There are many very promising targets objects connected with deepseated terrigenous and carbonate reservoirs in this segment of DDD (fig. 17).

Crystalline basement of different age (particularly pre-Cambrian) shows considerable promise of HC potential. This problem needs in special consideration in Ukraine. Now one can only to mention that just in Ukraine commercial HC potential AR-PR crystalline basement. The question is about intensive oil-gas accumulation in Eastern segment of joint zone between Voronezh anteclysa and DDD – Donetsk basin. Seven fields including great Yuliivka oil-gascondensate field have been discovered here.

A number of such zones are predicted within dilatation zone within crystalline basement of Eastern, Western and Southern petroliferous regions.

Among indicators of such objects one ought to mention pools of gas in traps, connected with basal strata of sedimentary cover.

An additional point to emphasize is that we predicted big and gigantic oil gascondensate and gas fields connected with massive reservoirs of deconsolidated Paleozoic – Early Mesozoic granites on the North-Western

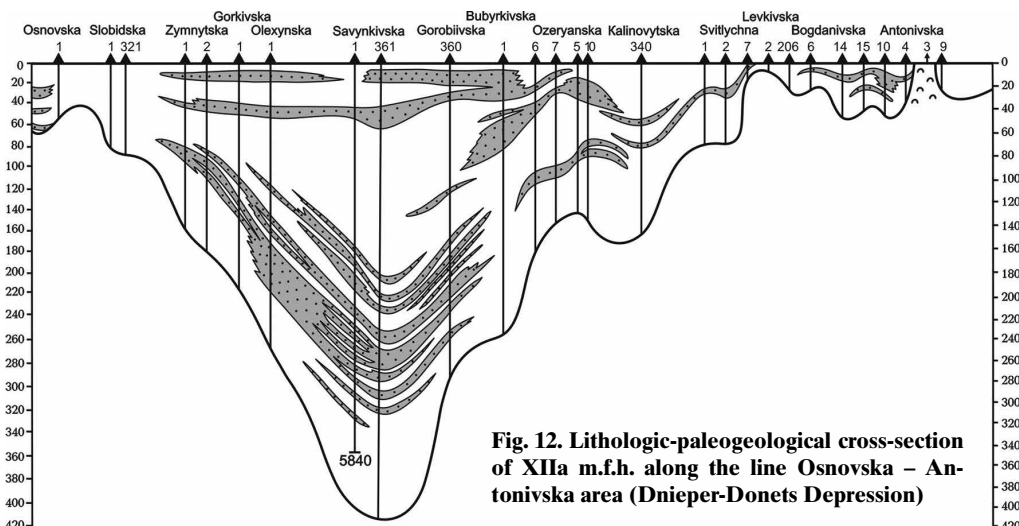


Fig. 12. Lithologic-paleogeological cross-section of XIIa m.f.h. along the line Osnovska – Antonivska area (Dnieper-Donets Depression)

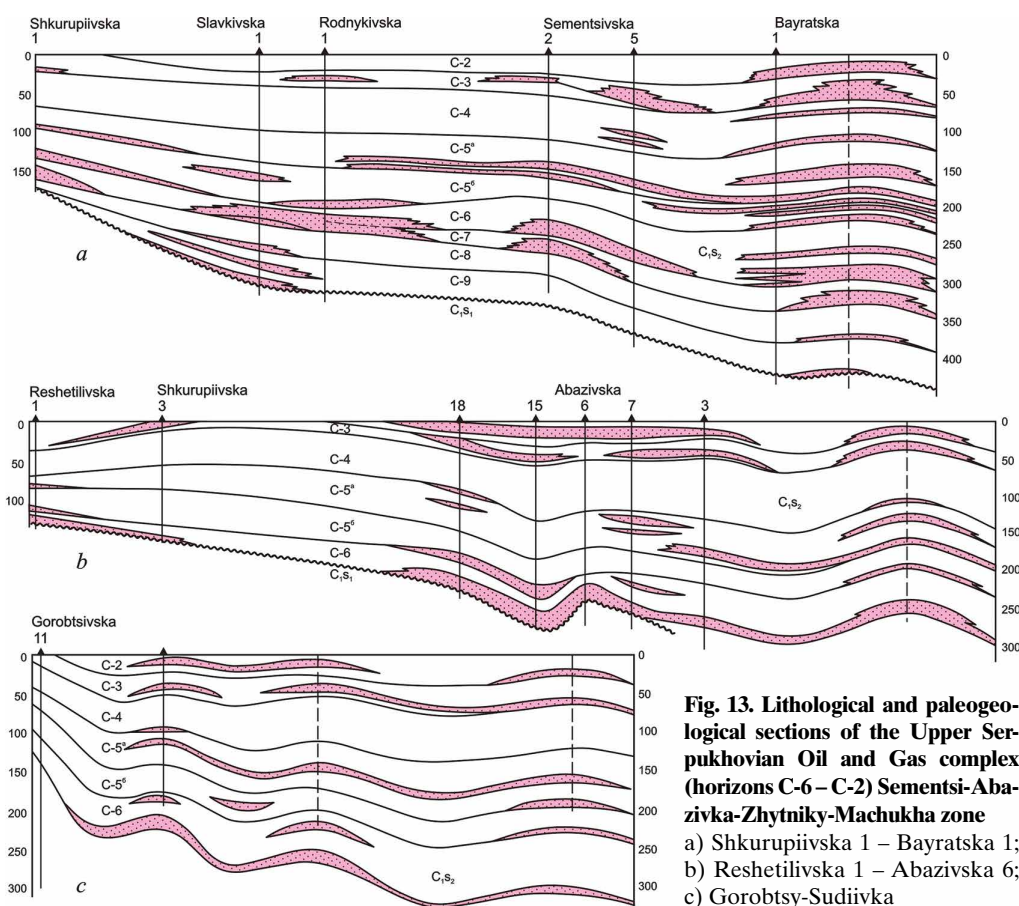


Fig. 13. Lithological and paleogeological sections of the Upper Serpukhovian Oil and Gas complex (horizons C-6 – C-2) Sementsi-Abazivka-Zhytniky-Machukha zone

a) Shkurupivska 1 – Bayratska 1;
b) Reshetilivska 1 – Abazivska 6;
c) Gorobtsivska 11

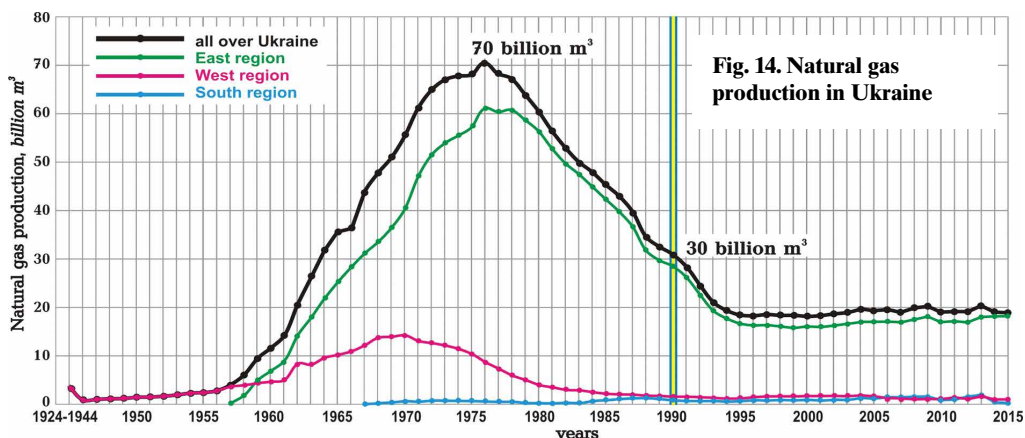


Fig. 14. Natural gas production in Ukraine

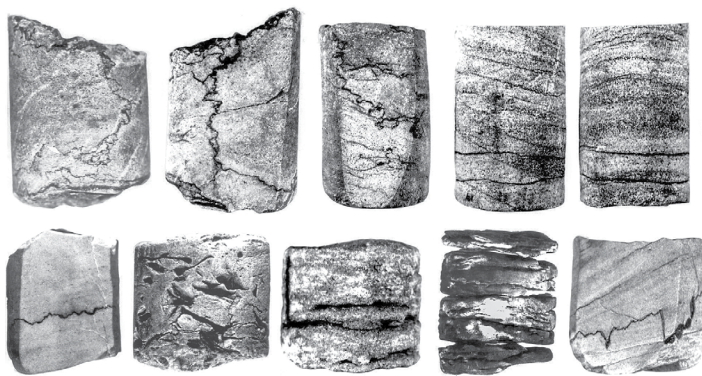
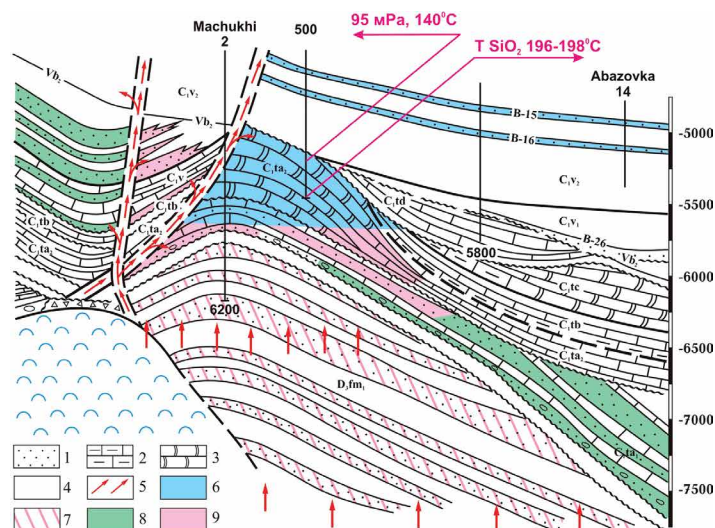


Fig. 15. Secondary fracture-cavernous-porous reservoirs in metasomatically-transformed quartzitic sandstones of Lower Carboniferous (central part of Dnieper-Donets Depression, at the depth of 5–6,5 km)

Fig. 16. Deep hydrogeologic anomaly in Machukhi field (Dnieper-Donets Depression)

1 – sandstones; 2 – clay limestones; 3 – reef carbonate; 4 – silt-clay deposits; 5 – movement of deep supercritical HCl-fluids; 6 – gascondensate pools; 7 – supposed pools of critical state; 8 – brines of Cl-Ca type; 9 – low-mineralized condensed waters of hydrocarbonate-sodium type



Hydrochemistry of deep low-mineralized water

cations	mg/l	mg-ekv.	%mg-ekv.	anions	mg/l	mg-ekv.	%mg-ekv.
Na ⁺	664,14	28,88	39,69	HCO ₃ ⁻	1012,60	16,60	72,82
Ca ²⁺	100,20	5,00	6,87	SO ₄ ²⁻	22,22	0,46	0,63
Mg ²⁺	30,40	2,50	3,44	Cl ⁻	685,22	19,32	26,55
Fe ²⁺	452,30	2,50	3,44	I ⁻	—	—	—
Fe ³⁺	99,12	—	—	Br ⁻	0,1	—	—
NH ₄ ⁺	29,19	—	—	B	6,69	—	—

Coefficients by Sulin:

Na/Cl = 1,49 Na-Cl/SO₄ = 20,86 SO₄/Cl = 0,0237 Ca/Mg = 2,00

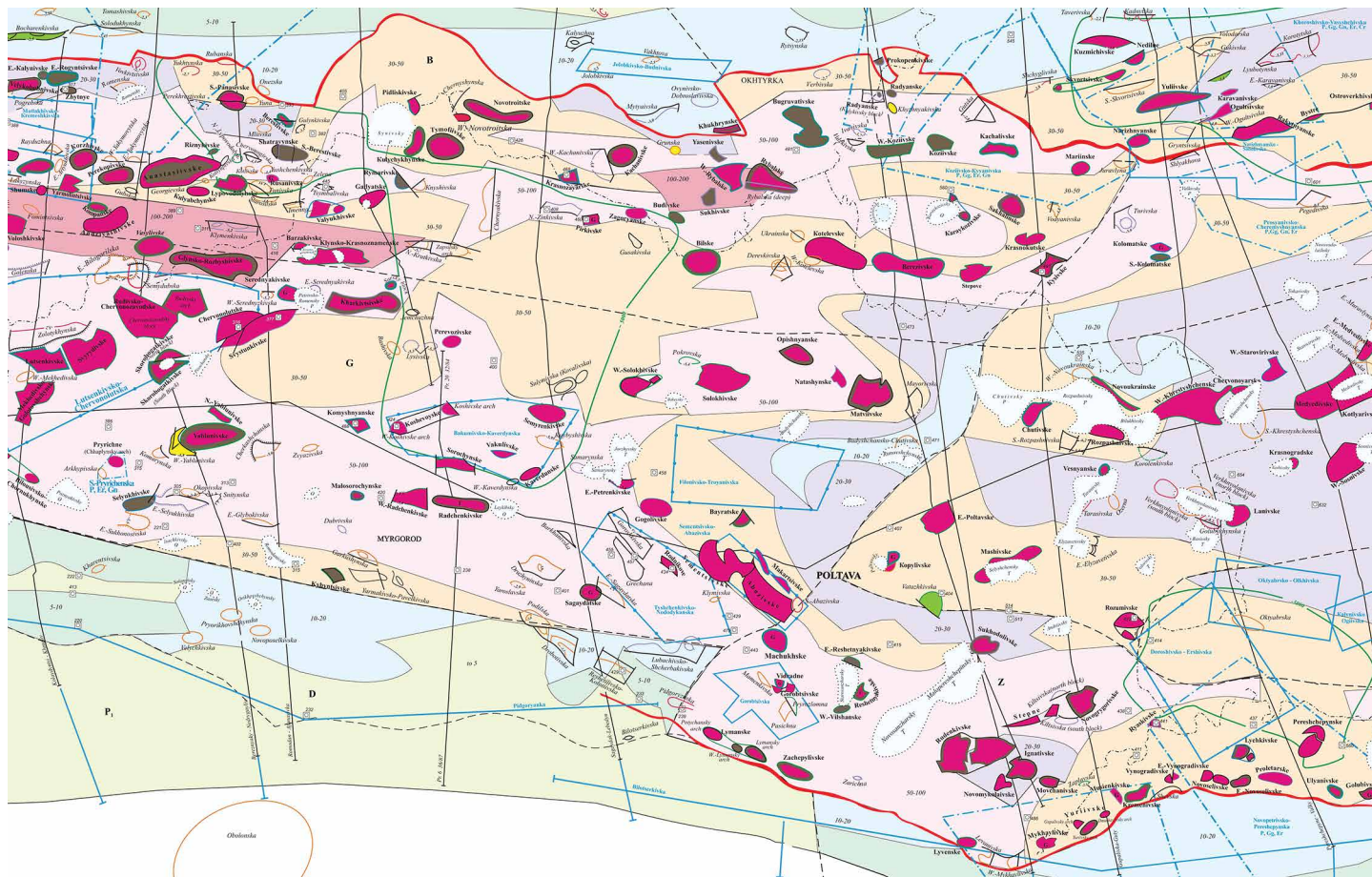
Content of mezo- and microelements, %

Si	1,550	Ti	0,065	Cu	0,025	Sn	traces	Yb	traces
Zn	1,210	Sr	0,050	Ni	0,008	Ag	traces	Hg	traces
Al	0,550	Mn	0,036	V	0,005	Ce	traces	Cd	traces
Ba	0,550	Cr	0,035	Mo	0,001				
Pb	0,520	La	0,030						

Geochemical association of dry residue of thermal water

[Cr, Ti, V, Ni] – [Sr, Ba, Mn] – [Pb, Zn, Cu, Mo, Ag, Hg, Ce, Cd] – [Si, Al, La, Sn, Yb]

Fig. 17. The central segment of the Dnieper-Donets depression. 45 fields (~ 110 pools) at the depths of > 5 km



and pre-Kerchian shelves of the Black Sea. The question is about fields of White Tiger, Dragon and other (fig. 18).

Non-traditional HC sources. This trend has been seemingly very promising ten or even 5 years ago. Then the objects of shale gas were determined and prospecting works have been begun on Olesskaya (Lviv and Ivano-Frankivsk regions) and Yuzivskaya (Kharkiv and Donetsk regions) areas. One ought to mention those objects were not the best. All efforts to develop this promising trend proved to be in vein by virtue of ecological and geopolitical reasons. Nevertheless, we argue with full responsibility argue that Ukrainian regions and Dnieper-Donets region first these are inexhaustible nontraditional source of gas during which shale, central-basin and free gas are deeply intertwined. This figure (fig. 19) demonstrates powerful Srebnian areal of gas-saturated Visean black shales. Their as evidenced by results of laboratory investigations and field tests. They are characterized with great content of kerogen and anomaly radioactivity. Bodies of good sandstone reservoirs with gascondensate pools occur within this black shale formation (particularly of large Rudovka field) (fig. 20). The development of such fields must be realized so in order together with free gas from sandstones with effective porosity, to extract shale gas.

Another good case in point – Rudenkovske gas field (fig. 21). Here together with considerable proved reserves of gas in terrigenous and carbonate reservoirs (blue colors), tremendous resources of shale and gas (Lower Visean black-shale suite) and central-basin gas (Upper Visean thickness of blackshale-sandstones thin intercalation).

We believe that the development of such hybride predominantly gas fields will be the very important trend of development to commercial level of the fields production capacity. Numerous oil zone of Carpathian region may be among them in sight. Here traditional oil pools in sandstones are combined with gas-saturated of Menilite black shales with intensive-fracturing caused by disjunctive-plikative tectonics.

It is pertinent to bring in mind that Ukraine has great reserves of coalbed gas and non-exhausted resources of methane dissolved in underground waters of abovementioned regions and connected with gas-hydrates of the ukrainian segment of the Black Sea.

From the aforesaid, it may be seen that collapse of Ukrainian fuel-energetic complexe is caused not by mythical exhaustion of natural HC resources but by collapse of the bulk of geophysics exploration and deep drilling (fig. 22).

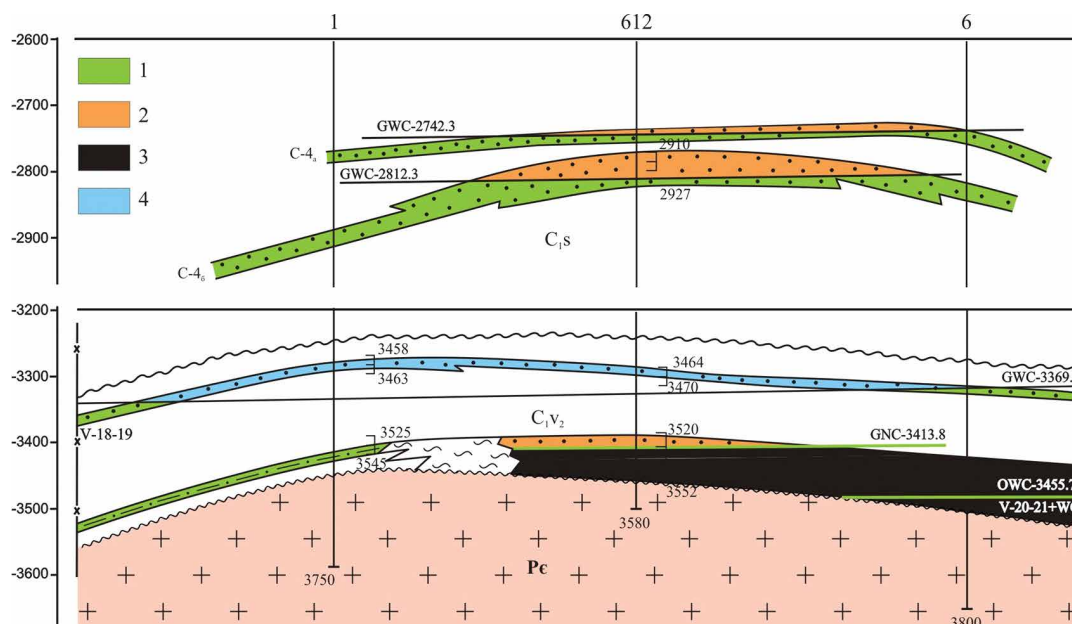


Fig. 18. Dnieper-Donets aulacogen. Northern shoulder (Southern slope of Voronezh anticline). Kharkov gasiferous district, Bezlyudovka gas-condensate field. Geologic profile of hydrocarbons-producing part of section along the line of wells 1 – 612 – 6

Productive horizons: 1 – aquiferous; 2 – gas-condensate; 3 – oil; 4 – gas

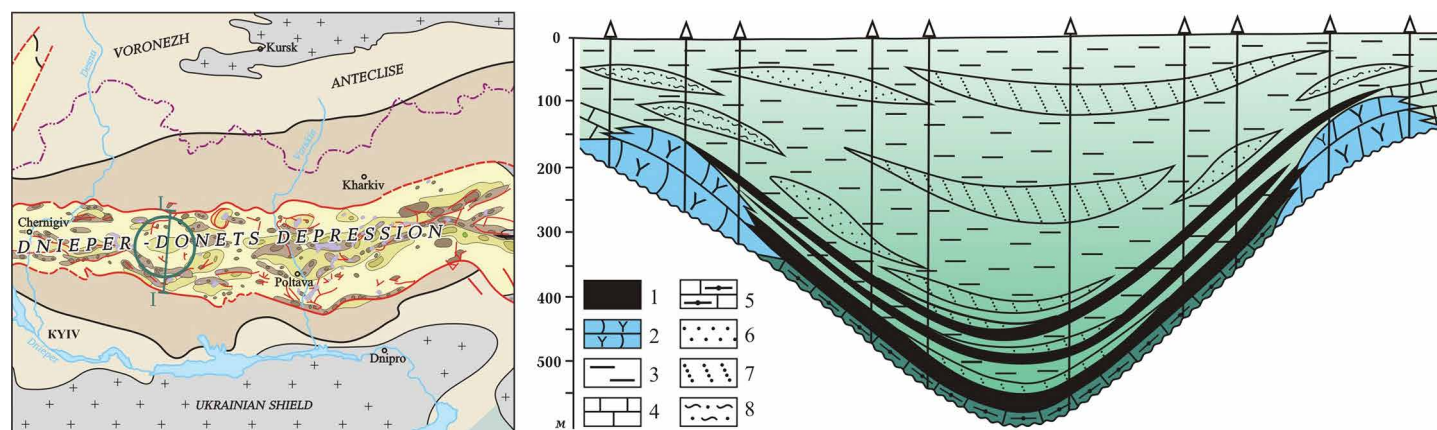


Fig. 19. Srebnian area of gas accumulation in black shales of XIIa m.f. horizon (C_{1v}) of Dnieper-Donets Depression. Cross-section along paleotectonic profile I – I

1 – former combustible shales at the stage of mezocatagenesis (Corg. 4–10 %); 2 – reef limestones; 3 – dark-coloured mudstones (Corg. 1,5–3 %); 4 – shelf detrital limestones; 5 – silicified bitumenous black limestones; terrigenous deposits connected with: 6 – counturites, 7 – turbidites, 8 – river-mouth bars

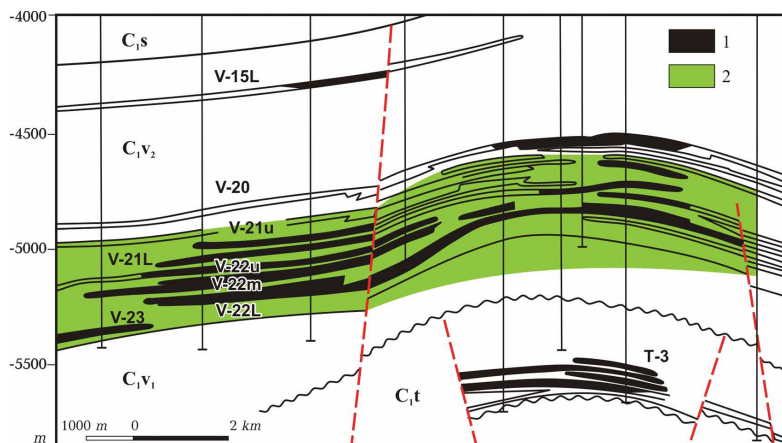


Fig. 20. Rudivsko-Chervonoazovske oil-gas-condensate fields (central part of DDB) as an example of hybrid object of development

1 – oil-gas-condensate pools; 2 – gas-bearing black shales (black shales XIIa m.f.h.)

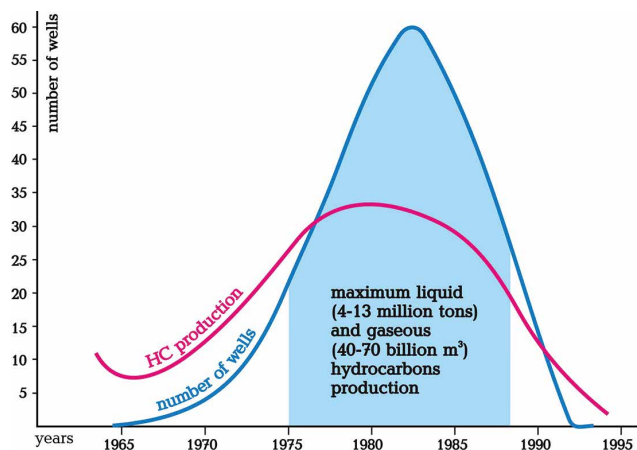


Fig. 22. Dependence between the number of deep (i 5 km) wells and yearly HC-production in Ukraine

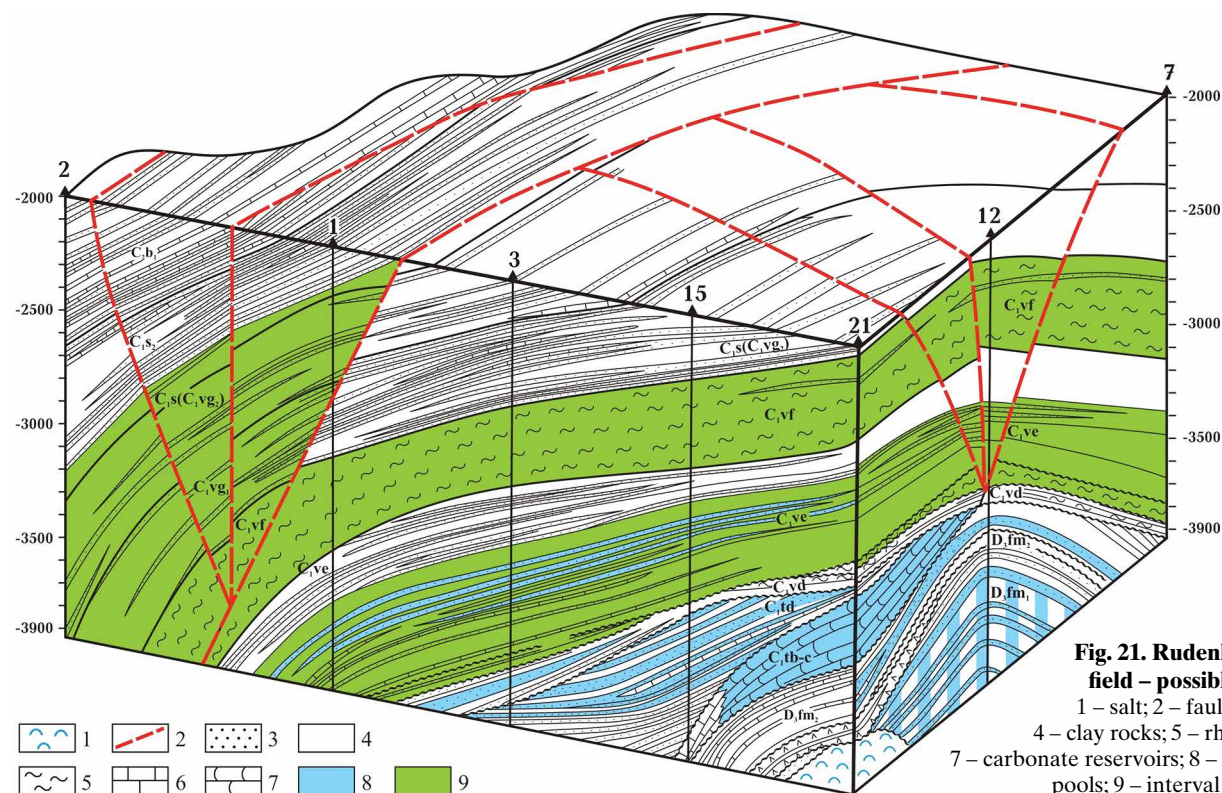


Fig. 21. Rudnivske gas-condensate field – possible gigantic hybrid field

1 – salt; 2 – faults; 3 – silty-sand rocks; 4 – clay rocks; 5 – rhytmities; 6 – limestones; 7 – carbonate reservoirs; 8 – gas and gas-condensate pools; 9 – interval promising for shale gas

REFERENCES

1. Lukin A. E. Lithogeodynamic factors of oil and gas accumulation in aulacogenic basins. – Kyiv: Naukova dumka, 1997. – 223 p. (In Russian).
2. Lukin A. E. Shale gas and prospects for its production in Ukraine// *Heolohichnyj zhurnal*. – 2010. – № 3. – P. 17–33; – № 4. – P. 7–24; – 2011. – № 1. – P. 21–41. (In Russian).
3. Lukin A. E., Gafich I. P. On the genesis of secondary oil and gas collectors at greatultra-deep depths// *Dopovidi NAN Ukrainy*. – 2016. – № 7. – P. 86–94. (In Russian).
4. Lukin A. E., Vakarchuk S. G. The Tournaisian-Lower Visean reef-carbonate complex of DDB and general problems of the formation of the Early Carboniferous oil-and-gas bearing reef// *Geologicheskij zhurnal*. – 1999. – № 2. – P. 21–32. (In Russian).
5. Lukin A. E., Kobleov V. P., Prigarina T. M. Hydrocarbon gas potential of Ukraine and ways of its development// *Neft i gaz Ukrainy*. – 2018. – № 7 (38). – P. 35–58. (In Russian).
6. Essays on Earth degassing/V. M. Shestopalov, A. E. Lukin, V. A. Zgonnik, A. N. Makarenko, N. V. Larin, A. S. Boguslavskij. – Kyiv: IGN NAN Ukrainy, 2018. – 632 p. (In Russian).

ЛІТЕРАТУРА

1. Лукин А. Е. Литогеодинамічні фактори нафтогазонакоплення в авлакогенних басейнах. – Київ: Наукова думка, 1997. – 223 с.
2. Лукин А. Е. Сланцевий газ і перспективи його добычи в Україні// *Геологічний журнал*. – 2010. – № 3. – С. 17–33; – № 4. – С. 7–24; – 2011. – № 1. – С. 21–41.
3. Лукин А. Е., Гафич І. П. О генезисе вторичных коллекторов нефти и газа на сверхбольших глубинах// *Доповіді НАН України*. – 2016. – № 7. – С. 86–94.
4. Лукин А. Е., Вакарчук С. Г. Турнейско-нижневизейский рифогенно-карбонатный комплекс ДДВ и общие проблемы формирования раннекаменноугольных нефтегазоносных рифов// *Геологический журнал*. – 1999. – № 2. – С. 21–32.
5. Лукин А. Е., Коболев В. П., Пригарина Т. М. Углеводородный газовый потенциал Украины и пути его освоения// *Нефть и газ Украины*. – 2018. – № 7 (38). – С. 35–58.
6. Очерки дегазации Земли/В. М. Шестопалов, А. Е. Лукин, В. А. Згонник, А. Н. Макаренко, Н. В. Ларин, А. С. Богуславский. – Киев: ИГН НАН Украины, 2018. – 632 с.

Рукопис отримано 18.11.2020.

УДК 622.279.5

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.39-44>

С. В. МАТКІВСЬКИЙ, аспірант кафедри видобування нафти і газу (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), начальник відділу проектування систем розробки родовищ вуглеводнів (Український науково-дослідний інститут природних газів, м. Харків), matkivskyi.sergey@ndigas.com.ua, <http://orcid.org/0000-0002-4139-1381>

S. MATKIVSKYI, PhD student at the department of oil and gas fields development (Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas), Head of the hydrocarbon fields development planning department (Ukrainian scientific-research institute of natural gases, Kharkiv), Ukraine, matkivskyi.sergey@ndigas.com.ua, <http://orcid.org/0000-0002-4139-1381>

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ПОСТІЙНО ДІЮЧИХ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОДОВИЩ ВУГЛЕВОДНІВ

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FEATURES OF CREATING RESERVOIR MODELS OF HYDROCARBON FIELDS

Для підвищення ефективності дослідно-промислової та промислової розробки родовищ вуглеводнів найефективнішою є технологія інтеграції геолого-промислової інформації в сучасні програмні комплекси для моделювання родовищ, починаючи з уведення первинних даних сейсмозвідки до розрахунку показників розробки родовищ на базі постійно діючих геолого-технологічних моделей. Побудова цифрових тривимірних моделей є невід'ємним атрибутом управління процесом розробки родовищ вуглеводнів. Адже, саме постійно діюча геолого-технологічна модель призначена для розв'язання основних завдань розробки родовищ з метою найповнішого вилучення запасів вуглеводнів і досягнення максимального економічного ефекту. Сучасний науково-технічний розвиток програмно-обчислювальних засобів дає змогу оперувати великими масивами інформації, надаючи можливість її систематизації, статичного опрацювання й визначення основних закономірностей між ними. Важливу роль під час створення бази даних проекту для побудови постійно діючих геолого-технологічних моделей відіграє наявність достовірних даних. Вихідними даними для створення постійно діючих геолого-технологічних моделей, розробка яких розпочалася ще в 1960-х роках, є результати комплексних досліджень, що характеризуються недостатньою точністю та низькою якістю. Відсутність достовірних і якісних даних вносить істотну невизначеність на всіх стадіях створення геолого-технологічних моделей, починаючи від підрахунку запасів вуглеводнів об'ємним методом до відтворення історії та прогнозування показників розробки. Необхідність використання наявної геолого-промислової інформації зумовила напрацювання нових методологічних принципів і підходів до створення постійно діючих геолого-технологічних моделей в умовах обмеженої вихідної інформації. За результатами численних досліджень розроблено чималу кількість методик, які успішно використовуються при створенні постійно діючих геолого-технологічних моделей родовищ вуглеводнів АТ "Укргазвидобування". Завдяки застосуванню нових підходів до побудови 3D-моделей досягається висока точність і надійність прогнозних результатів розрахунків за таких умов.

Ключові слова: родовище вуглеводнів, цифрова 3D-модель, база даних, методи моделювання, адаптація моделі.

To increase the efficiency of appraisal and development of hydrocarbon fields, the most effective technology is the integration of geological and field information into modern software systems for reservoir simulation, starting from the input of seismic data to field development planning based on a reservoir models. Building a three-dimensional geocellular models is an integral part of hydrocarbon reservoir management. After all, the reservoir model built to solve the main tasks of reservoir management such as: achieve the highest recovery and maximum economic effect. The modern level of software and the advances in computer processing power and graphics allows you to operate with big data, provides an opportunity for its systematization, statistical processing and detecting the basic laws between them. The availability of reliable data plays important role in the creation of a database for reservoir models. The input data for reservoir modelling of the fields, which were discovered in the 1960s, are the results of complex studies, characterized by insufficient accuracy and low quality. Lack of reliable and high-quality data brings significant uncertainty in all stages of modelling from volumetric estimation to the history match and forecasting. The necessity of using available geological and field information has led to the development of new methodological principles and approaches to reservoir modelling in conditions of limited initial information. According to the results of numerous studies, a significant number of methods have been developed, which are successfully used in the design of simulation models of hydrocarbon reservoirs of JSC "Ukrgezvydobuvannya". Thanks to the use of new approaches to the building of 3D-models, high accuracy and reliability of the simulation results under such conditions is achieved.

Keywords: hydrocarbon field, digital three-dimensional model, database, modeling methods, history-matching process.

Вступ

Динаміка розвитку геологічного та гідродинамічного моделювання в Україні знижена, порівнюючи зі світовими темпами. Така ситуація зумовлена відносно невеликими запасами вуглеводнів, а також станом виснаженості відкритих ще в минулому столітті родовищ нафти й газу. Необхідність вилучення залишкових запасів вуглеводнів з виснажених родовищ зумовила пошук єдиного інструменту, що дасть змогу комплексного підходу до розв'язання проблем для напрацювання шляхів та удосконалення наявних технологій розробки виснажених родовищ. Таким інструментом в умовах су-

часного науково-технічного розвитку є тривимірні постійно діючі геолого-технологічні моделі родовищ вуглеводнів. Тривимірні постійно діючі моделі являють собою об'ємну імітацію родовища, що зберігається в пам'яті комп'ютера та дає змогу досліджувати і прогнозувати процеси, що протікають у пласті під час розробки. Тривимірні постійно діючі моделі родовища складаються з геологічної та фільтраційної моделей і безперервно оновлюються на основі нових даних упродовж усього періоду розробки родовища. Саме інтеграція всієї наявної геолого-промислової інформації в програмні комплекси для створення об'ємної моделі родовища дає змогу систематизувати, проаналізувати та обробити наявні дані, що надалі вирішує питання розв'язку системи рівнянь

для отримання бажаного результату. Однак низька якість та обмеженість вихідної інформації, потрібної для побудови достовірних постійно діючих геолого-технологічних моделей, призвели до низки проблем, розв'язання яких потребує додаткового критичного аналізу та напрацювання різних підходів і методик, які б дали змогу якісно інтерпретувати наявну інформацію для отримання бажаного результату. Чисельні тривимірні моделі є досить складними, тому проведення точної адаптації моделі до фактичних даних, зважаючи лише на характеристики зміни декількох параметрів упродовж обмеженого періоду часу, має досить суб'єктивний характер і залежить від експертної оцінки інженера.

У цій статті розглянуто основні теоретико-методологічні аспекти побудови постійно діючих геолого-технологічних моделей родовищ вуглеводнів АТ “Укргазвидобування”.

Актуальність і постановка проблеми

Геологічні моделі родовищ вуглеводнів у нафтогазовій галузі України до сьогодні створюють на підставі сейсмічних 2D-польових даних і з урахуванням результатів буріння свердловин. Результати геологічних побудов виводяться на папір у вигляді профілів і карт, що не дає змоги візуалізувати об'ємну форму покладів і траєкторії пробурених свердловин. Наявні результати геологічних побудов не дають змоги оперативного вносити до моделі геолого-геофізичні дані, які отримують у процесі буріння нових свердловин і за результатами комплексних досліджень. Під час закладання проектних свердловин витрачають чималі ресурси й час для вибору оптимального місця розміщення устя й вибою свердловин.

Для розробки родовищ розрахунки проектних показників виконують здебільшого на персональних комп'ютерах (ПК) у програмах на основі балансової моделі газового покладу, для “середньої” свердловини, без урахування розподілу особливостей геологічного середовища та урахування фазових перетворень вуглеводнів у пласті. Усе це обмежує можливості прогнозування показників розробки для складних за геологічною будовою та складом пластових флюїдів родовищ АТ “Укргазвидобування” та знижує точність техніко-економічної оцінки ефективності розробки. Для підвищення ефективності проектування та управління процесом розробки родовищ вуглеводнів актуальним є створення тривимірних постійно діючих геолого-технологічних моделей родовищ вуглеводнів.

Виклад основного матеріалу

Одним з пріоритетних напрямів досліджень газових і газоконденсатних родовищ для підвищення якості проектування та оцінювання ефективності реалізації проектних рішень під час дослідно-промислової та промислової розробки, а також управління й контролю за повнотою виконання запланованих робіт є застосування постійно діючих геолого-технологічних моделей.

Моделювання розробки газових і газоконденсатних родовищ повинно використовуватися для досягнення високих кінцевих коефіцієнтів вуглеводневилучення та забезпечення максимального економічного ефекту. Використання цифрового моделювання повинно забезпечити оптимізацію та ефективне управління процесом розробки родовищ та вирішувати наступні завдання:

- підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт;
- проектування та обґрунтування раціональної системи розробки;
- економічне обґрунтування управління розробкою родовищ вуглеводнів [2].

Створення геологічних моделей починають зі збору даних. За результатами проведеного критичного аналізу геолого-промислової інформації достовірні дані перетворюють у спеціальні цифрові формати та завантажують у базу даних проекту.

На першому етапі побудови геологічної моделі створюється структурна модель усього родовища на основі даних 3D-сейсмозвідки. Сейсмозвідка на сьогодні є єдиним методом досліджень, що дає змогу вивчати структурні особливості будови покладів вуглеводнів і розподіл фільтраційно-ємнісних властивостей колекторів у міжсвердловинному просторі. Використовуючи наявні дані простежуються основні віддзеркалювальні горизонти, здійснюється виділення та трасування основних порушень по всьому геологічному розрізі та уточнюються границі продуктивних покладів. На основі аналізу виділених товщин роблять висновки щодо процесів формування пастки та основних геологічних закономірностей, що певним чином впливають на характер розподілу фільтраційно-ємнісних властивостей колектору.

Аналізуючи основні геологічні закономірності, проводиться стратиграфічна прив'язка, кореляція та уточнення структурного аналізу за даними сейсмозвідки та геофізичних досліджень свердловин (ГДС).

Для оцінювання впливу конседиментаційних і постседиментаційних тектонічних процесів та особливостей процесу формування колектору виконують палеотектонічний аналіз на основі вивчення зміни товщин стратиграфічних пачок порід.

За результатами детальної кореляції та палеотектонічного аналізу відтворюється історія формування району робіт, границь стратиграфічних розпланувань і зональних інтервалів, формуючи загальні уявлення щодо концептуальної геологічної моделі для кожного седиментаційного циклу.

Для визначення положення відміток флюїдних контактів у свердловинах проводиться опрацювання та інтерпретація даних геофізичних досліджень свердловин. Аналізується процес взаємодії свердловин під час розробки родовищ з урахуванням даних ГДС-контролю, інтерпретації сейсмозвідки, особливостей положення флюїдного контакту, аналізу проб пластових флюїдів, керна, інтерпретації гідродинамічних досліджень свердловин, граві- й магніторозвідки [2].

Комплексний аналіз різних геолого-геофізичних і промислових даних дає змогу підтвердити принципову концепцію геологічної моделі або виявити якісь протиріччя концептуальної моделі відносно фактичних даних. У разі виявлення певних протиріччя геологічна модель корегується для досягнення відповідності даних, отриманих різними методами в межах концепції геологічної моделі.

У разі недостатності чи відсутності певних даних додаткові дані отримують, аналізуючи геолого-промислову інформацію у свердловинах сусідніх родовищ, і обґрунтовують аналогію.

Завершення вищевикладених робіт дає змогу перейти до побудови на основі сейсмозвідки та даних геофізичних досліджень свердловин структурного каркасу продуктивних пластів і седиментаційних циклів. На цьому етапі ухвалюють рішення щодо методу побудови моделі.

Цифрові геологічні моделі залежно від кількості й якості геолого-промислових даних і методу моделювання можуть бути детермінованими або стохастичними [1].

Побудова достовірних детермінованих моделей ґрунтується на великій кількості даних достатньої точності. За відсутності таких даних і наявності відомостей щодо закономірностей

мірності розподілу фільтраційно-ємнісних властивостей колектору як за площею, так і за розрізом доцільно використовувати стохастичне моделювання поклада [2, 3].

Цей метод привласнює коди фацій коміркам, які мають найбільшу вірогідність для конкретного коду на основі налаштувань варіограми та сусідніх значень. Фації створюються тільки там, де вони безпосередньо є, тобто фактично в безпосередній близькості до свердловин. До того ж розв'язок є унікальним, що не дає змоги реального аналізу невизначеностей.

Унаслідок отримуємо тіла пісковиків у формі еліпсоїдів, що відповідає геометрії варіограми (відстань та орієнтація), істотно недооцінену пропорцію розподілу фацій, особливо через те, що модель має більше поширення, ніж зона з наявними свердловинами. За межами дії варіограми тільки переважаючий код фацій, який характеризує породу як колектор та є фоном. Цей факт явно призводить до недооцінювання глобальних об'ємів і повного нехтування геологічною неоднорідністю [5].

На основі результатів та обмежень детерміністичної методології застосовано стохастичний підхід до розповсюдження фацій у моделі.

Стохастична модель являє собою набір статистичних оцінок параметрів моделі у вигляді відповідних функцій розподілу.

Грунтуючись на ймовірнісному підході, стохастичний алгоритм варто виконувати в межах процесу з аналізу невизначеностей, кількість отриманих реалізацій має бути достатньою для статистичного представлення. У цьому сенсі, геологічна модель буде повним набором з усіх реалізацій, а не одна конкретна модель, з якої ми маємо вибрати одну чи декілька “представницьких” реалізацій з допомогою певного критерію. За стохастичного моделювання поширення й розміщення тіл пісковиків змінюється за кожної нової реалізації, що може мати суттєвий вплив на продуктивність свердловин та їхні видобувні можливості. Стохастичне моделювання є необхідним елементом для оцінювання достовірності геологічної моделі [5].

Оцінка фільтраційно-ємнісних властивостей є основою геолого-технологічної моделі родовища, оскільки впливає на якість і достовірність отриманих результатів, починаючи від підрахунку запасів газу об'ємним методом і закінчуючи процесом адаптації фільтраційної моделі. Для якісного оцінювання фільтраційно-ємнісних властивостей колектору проведено чималу кількість експериментальних і теоретичних досліджень, на основі яких розроблено безліч методик інтерпретації геофізичних досліджень свердловин залежно від наявності вихідних даних [5–7].

Унаслідок обґрунтування методу моделювання структурний каркас на основі результатів визначення фільтраційно-ємнісних властивостей колектору у свердловинах насичується петрофізичними параметрами (пористість, проникність, газонасиченість, водонасиченість) після визначення зв'язку між сейсмічними атрибутами та даними геофізичних досліджень свердловин [6].

Завершальним етапом створення геологічної моделі є підрахунок запасів вуглеводнів на основі обґрунтованих вихідних даних окремо за кожним седиментаційним циклом. Підраховуючи величини запасів геологічної моделі, об'єм породи, що представлений колектором вищеобґрунтованого флюїдного контакту, перемножують на коефіцієнти пористості й насиченості пор флюїдом. Отриманий об'єм вуглеводнів приводиться до поверхневих умов з застосуванням відповідних коефіцієнтів, характерних для конкретного родовища.

Після закінчення робіт зі створення геологічної тривимірної моделі оцінюють її достовірність і відповідність до ухвалених стандартів і методології проведення робіт зі створення цифрових моделей.

Спрощення геометричної будови (upscaling) здійснюється під час переходу від геологічної моделі до фільтраційної та зумовлене необхідністю проводити комп'ютерні розрахунки фізичних процесів, що мають місце під час видобування вуглеводнів, і показників розробки з урахуванням економічно допустимих витрат машинного й людського часу [1].

Результати моделювання представляються набором карт і цифрових геологічних сіток, які відображають геометрію колектору, поширення фільтраційно-ємнісних властивостей по площі поклада та за його розрізом, а також запасів вуглеводнів на цільових об'єктах.

Геологічна модель представляється у вигляді тривимірних об'ємних 3D-сіток і супроводжується усередненням параметрів пластів і доповнюється стислим набором структурних карт усереднених параметрів [2].

Схема інтеграції геолого-промислових даних у програмний комплекс Petrel зображено на рис. 1.

Геологічна цифрова модель родовища розв'язує статичне завдання відтворення геометричної структури газонасичених продуктивних покладів і розподілу щільності запасів вуглеводнів у їхньому об'ємі. Така геологічна модель є базовою для всіх подальших етапів моделювання з чітко визначеними функціями управління даними, здійснення відповідних розрахунків і візуалізації отриманих результатів.

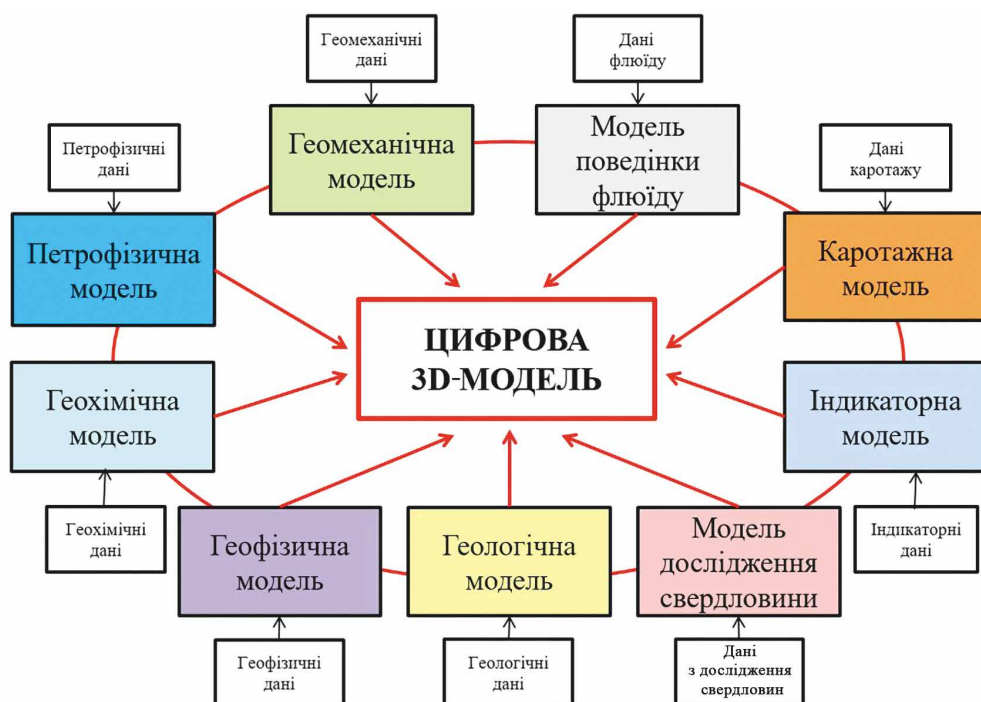


Рис. 1. Схема інтеграції геолого-промислових даних у програмний комплекс Petrel

Цифрова фільтраційна модель є інструментом математичного моделювання процесів у колекторах і призначена для розв'язання рівнянь матеріального балансу з урахуванням особливостей фільтрації газу в пласті згідно із законом Дарсі.

У числових моделях область моделювання представлена у вигляді скінченної кількості комірок, взаємозв'язок між якими розраховується чисельними методами. Сучасні фільтраційні моделі представлені комплексом програм гідродинамічного моделювання, підготовки вихідних даних, опрацювання та аналізу результатів для контролю й регулювання процесів розробки родовищ вуглеводнів [9].

Етап створення фільтраційних моделей починається після проведення потрібного аналізу геолого-промислової інформації та даних геофізичного контролю на всіх об'єктах розробки на основі створеної геологічної моделі родовища.

Вихідні дані для створення фільтраційної моделі розділяються на такі основні групи:

1. Дані щодо первинного насичення колекторів фазами, початковий пластовий тиск і тиск початку конденсації продуктивних пластів.

2. Результати аналізу компонентного та фракційного складу пластових флюїдів, фізико-хімічних властивостей флюїдів (PVT).

3. Інформацію про абсолютну та відносну фазову проникність, криві капілярного тиску, міжфазного натягу і дані щодо пружноємнісних властивостей.

4. Промислові дані про стан фонду свердловин, дебіти, робочі тиски, обсяги видобутку, конденсатогазовий і водний фактори.

5. Дані контролю за розробкою родовища (виміри поточного пластового тиску, результати дослідження свердловин на стаціонарних і нестаціонарних режимах фільтрації, величину скін-фактора, дані дебітометрії й витратометрії) [9].

Етапи створення геолого-технологічної моделі наведено на рис. 2.

Важливим етапом під час створення фільтраційних 3D-моделей родовищ нафти й газу є побудова PVT-моделей, оскільки саме відтворення фазових перетворень, що описуються моделлю флюїдів “чорної нафти” або повнофункціональною композиційною моделлю за допомогою рівняння стану, вносить істотну невизначеність на всіх стадіях побудови геолого-технологічних моделей, від підрахунку запасів вуглеводнів об'ємним методом до відтворення історії й розрахунку прогнозних показників [10–13].

У промисловій практиці найбільшого поширення набули трипараметричні рівняння Peng-Robinson (PR) і Soave-Redlich-Kwong (SRK), які реалізовано у всіх комерційних гідродинамічних симуляторах компаній (Schlumberger, CMG, RFD, Roxar, Halliburton тощо).

Проведення достовірної техніко-економічної оцінки ефективності розробки родовищ вуглеводнів зумовило напрацювання нових методик і підходів до налаштування рівняння стану за умов обмеженої вхідної інформації.

Рішення щодо вибору математичної моделі, яка найдостовірніше описує процес розробки покладу для коректного відтворення всіх фізичних процесів, що моделюються, приймається на основі аналізу отриманих геолого-промислових даних з огляду на режими розробки покладу (газовий режим, водонапірний режим) [14–15].

У разі наявності активного водонапірного режиму вплив водоносних горизонтів урахується аналітичним або чисельним моделюванням залежно від наявності вихідних даних.

За аналітичного моделювання розрахунків впливу водонапірної системи здійснюється на основі методів Фетковича та Картера-Трейсі [16, 17].

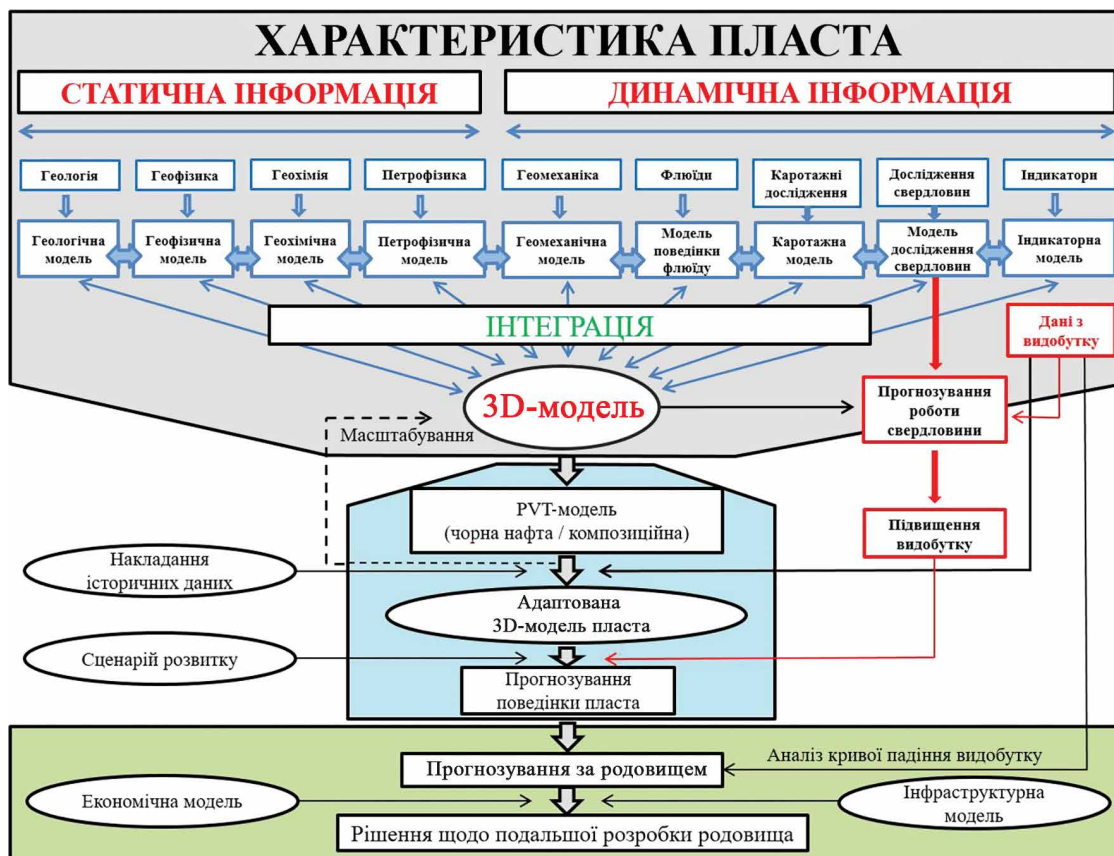


Рис. 2. Етапи створення постійно діючої геолого-технологічної моделі

Якщо в процесі розробки родовища потрібно передбачити не тільки просування пластової води в продуктивні поклади, а й витіснення води, то розрахунок проводять із застосуванням формул Херста та Ван Евердингера [18].

За чисельного моделювання водонапірної системи сітка моделі поширюється за межі контуру газоносності. Коміркам, які розміщуються поза контуром газоносності, привласнюються властивості водоносного пласта. У такому випадку прогнозування розробки продуктивного покладу здійснюється з урахуванням об'єму води, яка є в межах моделі.

Фільтраційне моделювання виконується за допомогою розрахункових програм, що реалізують чисельне рішення системи рівнянь, які описують фільтрацію пластових флюїдів і закачуваних агентів у пласт з урахуванням їхньої взаємодії, міжфазних явищ і фазових переходів [18].

Після завершення завантаження геолого-промислової інформації в базу даних проекту про історію розробки продуктивних покладів і фізико-хімічні властивості колекторів і флюїдів, що їх насичують, розпочинається етап адаптації фільтраційної моделі до фактичних даних.

Адаптація моделі полягає в налаштуванні параметрів (пористості, проникності, фазових проникностей тощо) до повної відповідності розрахованих даних, отриманих у процесі адаптації моделі, фактичним даним, одержаним у процесі розробки родовища. Аналіз історії розробки та якості вихідних даних є невід'ємним і дуже відповідальним етапом процесу адаптації постійно діючих геолого-технологічних моделей.

Одним з найпоширеніших способів адаптації тривимірних моделей до фактичних даних родовища є зіставлення пластових тисків, отриманих за результатами досліджень свердловин і результатів адаптації моделі. Доцільність застосування "адаптації історії по тиску" пояснюється тим, що для кожного часового кроку для кожної розрахункової комірки розраховуються значення тиску й насиченості вуглеводнями [18].

Адаптація обводненості продукції свердловин і водного фактору здійснюється шляхом зміни відносних фазових проникностей. Момент прориву води залежить від конкретних точок на кривих фазових проникностей. Пришвидшення чи сповільнення просування води регулюється шляхом корегування критичної точки на кривих фазових проникностей.

Відтворення історії розробки родовища з використанням симуляторів дає можливість не тільки уточнити геологічну модель, але й напрацювати шляхи вилучення залишкових запасів вуглеводнів шляхом розрахунку різних варіантів розробки родовища на перспективу. На основі техніко-економічного аналізу приймається оптимальний варіант розробки родовища.

Адаптація складних постійно діючих геолого-технологічних моделей родовища потребує великих затрат матеріальних і людських ресурсів і тому є дорогим інструментом контролю за розробкою родовищ.

Вибір раціональної системи розробки на базі постійно діючої геолого-технологічної моделі здійснюється з урахуванням особливостей геологічної будови родовища та специфіки фільтрації вуглеводнів за таких умов. Розрахунок оптимальних способів і термінів експлуатації добувних свердловин здійснюється за техніко-економічним критерієм. Вибираються такі способи видобутку вуглеводнів, що забезпечують найвищі кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення за мінімальних затрат.

Використання цифрового моделювання, урахування стан виснаження переважної більшості родовищ вуглеводнів України, дає змогу визначити, що саме потрібно зробити на цій стадії розробки для стабілізації видобутку вуглеводнів. Стратегія подальших робіт може включати буріння нових свердловин для залучення в розробку мікро- та макрозашемленого газу, удосконалення способу експлуатації свердловин та оптимізацію умов експлуатації.

За допомогою розрахунку різних сценаріїв розробки родовища, використовуючи постійно діючу геолого-технологічну модель, можна порівняти ефективність кожного можливого заходу та оцінити економічну ефективність цих робіт.

Напрацьовані підходи до побудови постійно діючих геолого-технологічних моделей зорієнтовані на автоматизацію всього процесу аналізу та обробки наявної геолого-промислової інформації, що починається з уведенням даних про первинні сейсмічні дослідження та їхню інтерпретацію до створення постійно діючої тривимірної моделі родовища з наступним розрахунком оптимальних варіантів розробки, спрямованих на забезпечення максимальних коефіцієнтів вилучення вуглеводнів.

Висновки

У газопромисловій практиці досить часто під час адаптації тривимірних моделей виникають складнощі, пов'язані з тим, що використовується занадто багато статистичної інформації, оскільки комплексні дослідження займають надто багато часу і призводять до втрат видобутку. У зарубіжних передових компаніях вихідної інформації для побудови постійно діючої геолого-технологічної моделі родовища, отриманої за кілька років розробки, занадто багато, що надає велику свободу дій. Геолого-промислова інформація в такому разі потребує детального аналізу для отримання точної адаптації моделі до фактичних даних.

Під час аналізу наявних даних з родовищ України, які відкрито в 70–80-х роках XX століття, визначено, що наявна інформація характеризується низькою якістю й високим рівнем різних невизначеностей. Пояснюється така закономірність відсутністю сучасних досліджень згідно зі світовою практикою, методологією проведення досліджень і проектування розробки родовищ вуглеводнів. У зв'язку з цим виникає наступна проблема, пов'язана з необхідністю закінчення побудови постійно діючої тривимірної моделі родовища в умовах обмеженої інформації. Вирішення цієї проблеми призвело до напрацювання нових методів і методичних підходів до визначення потрібних для побудови моделі параметрів, застосовуючи наявну геолого-промислову інформацію.

Використання сучасних наукових підходів до проектування раціональної системи розробки та розроблених методик для створення постійно діючої тривимірної моделі родовища в умовах обмеженої вихідної інформації дала змогу підвищити техніко-економічні показники з оптимізації систем розробки родовища шляхом обґрунтування доцільності закладання проектних експлуатаційних свердловин з визначенням їхнього оптимального місцеположення, обґрунтування доцільності й пріоритетності свердловин для проведення заходів з інтенсифікації видобутку та ремонтно-ізоляційних робіт, удосконалення системи контролю й регулювання вилучення запасів і зниження темпів обводнення, визначенням доцільності впровадження вторинних і третинних технологій розробки родовищ.

Постійно діюча тривимірна геолого-технологічна модель родовища, яка достовірно описує всі геологічні та гідродинамічні процеси, які мають місце в пласті, є потужним інструментом ефективного управління розробкою родовищ вуглеводнів, використання якого може забезпечити повніше вилучення залишкових запасів вуглеводнів за мінімальних затрат й забезпечити високі кінцеві коефіцієнти вуглеводневиучення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басин Н. Я., Новгородов В. А., Петерсильє В. Н. Оценка подсчетных параметров газовых и нефтяных залежей в карбонатном разрезе по геофизическим данным. – М.: Недра, 1987. – 158 с.
2. Боганик В. Н., Медведев А. И., Григорьев С. Н. Обобщение промыслово-геофизической информации и создание эффективной методики для выдачи заключения по каротажу//Обзорн. инф. в сер. Нефтегазовая геология и геофизика. – М.: ВНИИОЭНГ, 1995. – 60 с.
3. Бурачок О. В., Матківський С. В., Кондрат О. Р. та ін. Особливості відтворення рівняння стану газоконденсатних сумішей за умови обмеженої вхідної інформації/Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2020 – № 1(74). С. 82–88. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-1\(74\)-82-88](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-1(74)-82-88)
4. Бурачок О. В., Матківський С. В., Кондрат О. Р. та ін. Особливості створення PVT-моделей за умови обмеженої вхідної інформації//Тези наук.-техн. конф. – Швеція, 2020. – С. 184–188.
5. Бурачок О. В., Матківський С. В., Кондрат О. Р. та ін. Дослідження меж застосування PVT-моделі “чорної нафти” для моделювання газоконденсатних покладів//Мінеральні ресурси України. – 2020. – № 2. – С. 43–48. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.43-48>
6. Вендельштейн Б. Ю., Золоева Г. М., Царева В. Н., Дахнов В. Н. и др. Геофизические методы изучения подсчетных параметров при определении запасов нефти и газа. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
7. Дембицкий С. И. Оценка и контроль качества геофизических измерений в скважинах. – М.: Недра, 1991. – 204 с.
8. Єгер Д. О., Ковальчук М. Р., Ковальчук Р. М., Григоренко В. В., Дорошенко В. М., Зарубін Ю. О., Лизун С. О. Моделювання геологічної будови покладів нафти і гідродинаміки процесів їх розробки. – Львів-Київ, 2005. – 364 с.
9. Жданов С. А., Максимов М. М., Хавкин А. Я., Рыбцкая Л. П., Цыбульская О. Т., Гогоненков Г. Н., Евстифеев В. И., Величкина Н. Ф., Юдин В. А. Проектирование разработки нефтяных месторождений с использованием постоянно действующих геолого-технологических моделей//Нефтяное хозяйство. – 1997. – № 3. – С. 43–47.
10. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Часть 1. Геологические модели. – М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2003. – 164 с.
11. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Часть 2. Фильтрационные модели. – М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2003. – 228 с.
12. Burachok O., Matkivskiy S., Spyrou C. Advantage of Stochastic Facies Distribution Modeling for History Matching of Multi-stacked Highly-heterogeneous Field of Dnieper-Donetsk Basin//Тези наук.-техн. конф. – Італія, 2019. – С. 1–5.
13. Coats K. H., Dempsey J. R. and Henderson J. H. The Use of Vertical Equilibrium in Two Dimensional Simulation of Three Dimensional Reservoir Performance, Soc. Pet. Eng. J., March 1971. 63 p. <https://doi.org/10.2118/2797-PA>
14. Dake L. P. Fundamentals of Reservoir engineering, Elsevier, Seventeenth Impression, 1998. – 443 p.
15. Dietz D. N. A Theoretical Approach to the Problem of Encroaching and By-Passing Edge Water, Akad. van Wetenschappen, Amsterdam, 1953, Proc. Vol. 56B. – 83 p.
16. Thomas G. W. Principles of Hydrocarbon Reservoir Simulation, IHRDC Publishers, Boston, Mass., 1982. – 160 p.
17. Whitson C. H. Characterizing Hydrocarbon Plus Fractions. SPE Reservoir Engineering. – 1983. – P. 683–694. (SPE 12233).
18. Whitson C. H., Brule M. R. Phase Behavior. SPE Monograph Series, Vol. 20. Richardson, Texas, 2000. – 240 p.

REFERENCES

1. Basin N. Ja., Novgorodov V. A., Petersile V. N. Estimation of calculation parameters of gas and oil deposits in a carbonate section based on geophysical data. – Moskva: Nedra, 1987. – 158 p. (In Russian).
2. Boganik V. N., Medvedev A. I., Grigorev S. N. Generalization of production and geophysical information and creation of an effective method for issuing a logging conclusion// Obzorn. inf. v ser. Neftgazovaja geologija i geofizika. – Moskva: OAO “VNIIOJeHNG”, 1995. – 60 p. (In Russian).
3. Burachok O. V., Matkivskiy S. V., Kondrat O. R. та in. Gas-condensate EOS PVT fluid modeling using limited input data/Rozvidka та rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch. – 2020 – № 1 (74). – P. 82–88. (In Ukrainian). [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-1\(74\)-82-88](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-1(74)-82-88)
4. Burachok O. V., Matkivskiy S. V., Kondrat O. R. та in. Features of creating PVT-models with limited input information//Tezy nauk.-tekhn. konf. – Shvetsia, 2020. – P. 184–188. (In Ukrainian).
5. Burachok O. V., Matkivskiy S. V., Kondrat O. R. та in. Evaluation of Black-oil PVT-model applicability for simulation of gas-condensate reservoirs//Mineralni resursy Ukrainy? – 2020. – № 2. – P. 43–48. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.43-48>
6. Vendelshstein B. Ju., Zoloeva G. M., Careva V. N., Dahnov V. N. i dr. Geophysical methods for studying calculation parameters when determining oil and gas reserves – Moskva: Nedra, 1985. – 248 p. (In Russian).
7. Dembickij S. I. Assessment and quality control of geophysical measurements in wells – Moskva: Nedra, 1991. – 204 p. (In Russian).
8. Yeher D. O., Kovalchuk M. R., Kovalchuk R. M., Hryhorenko V. V., Doroshenko V. M., Zarubin Yu. O., Lyzun S. O. Modeling of geological structure of oil deposits and hydrodynamics of their development processes – Lviv-Kyiv, 2005. – 364 p. (In Ukrainian).
9. Zhdanov S. A., Maksimov M. M., Havkin A. Ja., Rybickaja L. P., Cybulskaja O. T., Gogonenkov G. N., Evstifeev V. I., Velichkina N. F., Judin V. A. Designing the oil fields development using geological and technological models//Neftjanoe hozjajstvo. – 1997. – № 3. – P. 43–47. (In Russian).
10. Methodological guidelines for the creation of geological and technological models of oil and gas-oil fields. Part 1. Geological models. – Moskva: OAO “VNIIOJeHNG”, 2003. – 164 p. (In Russian).
11. Methodological guidelines for the creation of geological and technological models of oil and gas-oil fields Part 2. Dynamic model. – Moskva: OAO “VNIIOJeHNG”, 2003. – 228 p. (In Russian).
12. Burachok O., Matkivskiy S., Spyrou C. Advantage of Stochastic Facies Distribution Modeling for History Matching of Multi-stacked Highly-heterogeneous Field of Dnieper-Donetsk Basin//Tezy nauk.-tekhn. konf. – Italiia, 2019. – P. 1–5.
13. Coats K. H., Dempsey J. R. and Henderson J. H. The Use of Vertical Equilibrium in Two Dimensional Simulation of Three Dimensional Reservoir Performance, Soc. Pet. Eng. J., March 1971. – 63 p. <https://doi.org/10.2118/2797-PA>
14. Dake L. P. Fundamentals of Reservoir engineering, Elsevier, Seventeenth Impression, 1998. – 443 p.
15. Dietz D. N. A Theoretical Approach to the Problem of Encroaching and By-Passing Edge Water, Akad. van Wetenschappen, Amsterdam, 1953, Proc. Vol. 56B. – 83 p.
16. Thomas G. W. Principles of Hydrocarbon Reservoir Simulation, IHRDC Publishers, Boston, Mass., 1982. – 160 p.
17. Whitson C. H. Characterizing Hydrocarbon Plus Fractions. SPE Reservoir Engineering. – 1983. – P. 683–694. (SPE 12233).
18. Whitson C. H., Brule M. R. Phase Behavior. SPE Monograph Series, Vol. 20. Richardson, Texas, 2000. – 240 p.

Р у к о п и с о т р и м а н о 16.08.2020.

УДК 55.092

Н. Н. ШАТАЛОВ, д-р геол. наук, ведущий научный сотрудник (ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”), shatalov@casre.kiev.ua

ОСНОВОПОЛОЖНИК МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ НАУКИ К 125-летию академика С. С. Смирнова

FOUNDER OF METALLOGENIC SCIENCE

To the 125th anniversary of Academician S. S. Smirnov



Все элементы периодической системы Д. И. Менделеева встречаются в литосфере, гидросфере и атмосфере Земли преимущественно в рассеянном состоянии и различных концентрациях. И очень редко создают скопления, т. е. месторождения. Найти их – трудная, но выполнимая задача геологов. При поиске руд в земной коре важен научный прогноз. Великим мастером, точнее гением прогноза был академик С. С. Смирнов. Созданное им, совместно с Ю. А. Билибиным, металлогеническое направление исследований, опираясь на мощный фундамент, способствовало созданию школы и крупной современной минерально-сырьевой базы России, Беларуси, Украины и многих других стран, расположенных в бассейне Тихого океана. По размаху ума, по значению сделанных им открытий его, несомненно, можно поставить в один ряд с такими выдающимися учеными XX века, какими были “три К” – И. В. Курчатов, М. В. Келдыш, С. П. Королев.

Имя академика **Сергея Сергеевича Смирнова (1895–1947)** занимает особое место среди замечательной плеяды ученых-геологов. Он прожил короткую, но яркую жизнь и оставил потомкам огромное научное наследие, которое вошло в золотой фонд мировой геологической науки. Пройдут столетия, а идеи и научные положения – результаты глубоких и многогранных исследований Сергея Сергеевича в области рудной геологии и металлогении – неизменно будут востребованы. Несомненно, также, что идеи С. С. Смирнова всегда будут призывать исследователей планеты Земля к дальнейшему их совершенствованию и развитию.

С. С. Смирнов родился в 1895 году в г. Иваново-Вознесенске в семье рабочего-гравера текстильной фабрики. В 1913 г. он поступил в Санкт-Петербургский горный институт на геологоразведочный факультет. В институте юноша нашел благодатную почву для плодотворного развития своих способностей в области минералогии и рудной геологии. Этому способствовали педагоги – профессора Е. С. Федоров, В. В. Никитин, К. И. Богданович, воспитавшие целую плеяду замечательных ученых-геологов. Эта школа предопределила последующую научную деятельность С. С. Смирнова. В ней он достиг совершенства в изучении и анализе сложнейших явлений природы и филигранной диагностики минералов.

После окончания горного института в 1919 г. он был оставлен на кафедре минералогии, руководителем которой в то время был один из крупнейших знатоков минералогии – профессор В. В. Никитин. Проявляя заботу о студентах Сергей Сергеевич составил специальное руководство “Краткое введение к работе по кристаллооптике”. Оно было издано в 1924 г.

Минералогия – эта, казалось бы, сухая и сугубо описательная наука, доставляющая немало неприятностей студентам, из уст лектора С. С. Смирнова звучала как поэма. В 1930 г., в возрасте 35 лет С. С. Смирнов становится профессором и возглавляет кафедру минералогии Горного института.

Научная деятельность Сергея Сергеевича была связана с Геологическим комитетом, позднее – Всесоюзным геологическим институтом (ВСЕГЕИ). Там он являлся одним из основоположников нового – металлогенического направления в геологической науке и металлогенической школы. Им впервые были сформулированы научные задачи школы и рождавшейся науки. Металлогения предусматривала изучение особенностей месторождений полезных ископаемых в целях установления основных закономерностей распределения разнотипного оруденения в пространстве и во времени, а также совокупности геологических факторов, контролирующих их размещение.

В металлогенической оценке С. С. Смирнов четко различал теоретическую металлогению и специальную – региональную или многоотраслевую. Результаты работ Сергея Сергеевича по фундаментальным и прикладным металлогеническим исследованиям до сих пор сохраняют свое научное и практическое значение.

Фундаментальные основы и пути металлогенической науки были заложены и осуществлены С. С. Смирновым и его ближайшим соратником по ВСЕГЕИ, талантливым ученым Ю. А. Билибиным.

Совместно с Ю. А. Билибиным им предметно развиты идеи оценки и прогнозирования поисков полезных ископаемых. Творцы металлогении разработали основные положения науки, которая в состоянии была определять не только целесообразный район опосредования на тот или иной вид минерального сырья, но и предсказывать возможные формационные типы оруденения на площади, проектируемой под поиски. Другими словами, творцы новой металлогенической науки разработали сильное научное оружие и вложили его в руки большой армии геологов страны в деле решения неотложных задач прогнозно-поисковой геологии.

В специальной – отраслевой металлогении наиболее известны работы С. С. Смирнова по олову. Он спрогнозировал район поисков оловянно-рудных месторождений. Работая в области металлогении олова, Сергей Сергеевич пришел к выводу, что существующие теоретические представления зарубежной школы о геологии олова не отвечают природным условиям формирования наиболее перспективных типов и крупных месторождений промышленного олова в земной коре. В связи с этим он написал: “прежние представления о специфической приуроченности олова к пегматитам и пневматолитам, представления, чрезвычайно сужающие область физико-химических условий, благоприятных для отложения олова, оказались не вполне точными и привели даже к целой серии досадных ошибок и пропусков”.

С. С. Смирнов разработал свою, новую классификацию и выделил три оловорудных формации: касситерит-пегматитовую, касситерит-кварцевую и касситерит-сульфидную. При этом сформулировал такое правило: широкое развитие в данном районе касситерит-сульфидных месторождений исключает широкое развитие здесь же месторождений двух других групп. Он обосновал также вывод о том, что месторождения касситерит-сульфидной формации формируются в резко отличной тектономагматической обстановке от месторождений оловоносных пегматитов и касситерит-кварцевой формации. Как следствие этого он исключал возможность совместного формирования в вертикальном разрезе литосферы руд указанных трех формационных типов.

Разработанная ученым классификация привела не только к прогнозу, но и открытию оловорудных районов и провинций. На северо-востоке страны в короткие сроки были открыты многочисленные промышленные месторождения олова нового формационного типа – касситерито-сульфидного. Научные прогнозы С. С. Смирнова подтвердились – так был открыт “оловянный рудный пояс”.

Одновременно с оловом он продолжал заниматься детальным изучением и прогнозом полиметаллических месторождений.

Геологам Украины и других республик бывшего СССР широко также известны работы С. С. Смирнова по региональной металлогении: “Железорудные месторождения Восточной Сибири” (1932 г.), “К металлогении Восточного Забайкалья” (1932 г.), “К минерагении Среднесибирской платформы” (1933 г.), “Металлогения Западного Верхоянья” (1934 г.), “Схема металлогении Восточного Забайкалья” (1936 г.), “Металлогения Северо-Востока Азии” (1937 г.) и, конечно, “Тихоокеанский рудный пояс” (1946 г.).

Наиболее интересной для геологов Украины является работа Сергея Сергеевича по металлогении Тихоокеанского рудного пояса. Она до сих пор представляет большой интерес для широкого круга исследователей и поражает своей научно-практической направленностью и актуальностью. Эта планетарная металлогеническая структура, впервые им сформулированная, включает мобильные области развития преимущественно мезо-кайнозойской складчатости, магматизма и минерализации между Тихим океаном, с одной стороны, и древними докембрийскими континентальными платформами, с другой. Идеи С. С. Смирнова высказанные в этой книге, на наш взгляд, применимы к структурам обрамления Украинского щита, а также к изучению минерагении более молодых тектонических структур Крымско-Карпатского региона.

Глубокий вклад внес С. С. Смирнов и в разработку учения о рудных месторождениях. Проводя исследования по металлогении ученый убедился в несовершенстве существующих теоретических представлений по вопросам рудообразования. Критический разбор Сергей Сергеевичем основных теоретических положений рудообразования и намеченные им пути совершенствования теории рудогенеза во многом предопределили дальнейший успех геологической науки о рудных месторождениях и, следовательно, решения важных практических задач – открытия новых месторождений.

Постоянно занимающая его проблема – это классификация рудных месторождений. Еще в 1937 г., разрабатывая новую классификацию оловорудных месторождений, он с новых позиций подошел к характеристике основных оловорудных формаций-групп, показывая различие в минеральном составе выделенных формаций и подчеркивая отличие в петрохимическом составе магматических образований, с которыми ассоциируют месторождения различных групп. Это было принципиально новым в понимании геологии оловорудных месторождений. Он, в частности, устано-

вил, что в тех случаях, когда магматический остаток более или менее обогащен серой, значительная часть олова оставляет металлоносный очаг в более поздние стадии, чем обычно, и олово при этом переходит в раствор в более устойчивых соединениях. Его геохимия в этом случае, по мнению ученого, близка к геохимии меди, свинца, цинка, золота и других элементов. Как следствие этого в природе действительно имеет место весьма тесная минеральная ассоциация скоплений касситерита в оловорудных месторождениях с промышленными концентрациями сульфидов меди, свинца и цинка, чего не наблюдается в месторождениях олова других выделенных им генетических групп.

С. С. Смирнов наметил также программу научных исследований в целях создания более совершенной теории рудогенеза, основанной на большом фактическом материале и результатах комплексных исследований – физико-химических, минералогических, геохимических, структурно-геологических и других. Эта программа – основное направление исследований по рудной геологии – по существу явилась фундаментом, на котором ученики его школы построили передовое учение о рудных месторождениях и теорию рудообразования. Разработанная ученым теория рудогенеза, несомненно, способствовала поискам месторождений полезных ископаемых и развитию минерально-сырьевой базы страны.

В последние годы жизни ученый много внимания уделял состоянию учения о рудных месторождениях и вопросам их систематики. К этому периоду его научной деятельности относится ряд выдающихся по содержанию, глубине и направленности работ: “Современное состояние о рудных месторождениях”, “Заметки по некоторым вопросам учения о рудных месторождениях”, “Успехи в области теории рудообразования магматических рудных месторождений”, “Систематика магматогенных рудных месторождений”, “К вопросу о зональности рудных месторождений” и др.

В 1946 г. ему была присуждена Государственная премия СССР за укрепление минерально-сырьевой базы страны. Результатом его исследований являлись многие рудные месторождения, его роль в выявлении сырьевых богатств Северо-Востока Азии огромна и общепризнанна. Там появились рудники и поселки. Следы открытого им Тихоокеанского рудного пояса обнаружены в Китае, Вьетнаме, Корее, Чили и других странах. Благодаря его научному прогнозу там также открыты месторождения олова, золота и полиметаллов.

Итак, талантливым ученым впервые в мире была создана научная школа и новое, металлогеническое направление в геологии. Благодаря металлогеническому анализу и научному прогнозу академика С. С. Смирнова впервые в истории бывшего СССР была создана минерально-сырьевая база по многим типам сырья – золота, полиметаллов, редких металлов, олова, вольфрама, урана и др. В послевоенное время в различных регионах Украины и стран бывшего СССР работало много металлогенических отрядов, партий и экспедиций. Было открыто огромное количество месторождений и издано много разномасштабных металлогенических карт. Металлогеническую экспедицию в Министерстве геологии Украины, в частности, длительное время возглавлял профессор Палецкий Леонид Станиславович – первооткрыватель уникального и крупного Пержанского редкометалльного месторождения на Вольни. В конце 40-х годов прошедшего века академиком Яковом Николаевичем Белевцевым в пределах Кировоградского геоблока Украинского щита было открыто ряд месторождений урана, составивших уникальную металлогеническую провинцию. Более 50 лет плодотворные металлогенические исследования в акваториях морей и океанов проводит академик НАН Украины Евгений Федорович Шнюков. Совершенно очевидно, что идеи академика С. С. Смирнова бессмертны и еще приведут к новым открытиям.



СВІТЛОЇ ПАМ'ЯТІ ВАСИЛЯ ЛЕОНТІЙОВИЧА ПРИХОДЬКА

IN THE BLESSED MEMORY OF VASYL PRYKHODKO

14 листопада 2020 року суворя й безжалісна епідемія вирвала з рядів геологічної спільноти людину прекрасної душі, високоінтелектуального фахівця в галузі геології. На 70-му році передчасно обірвалося життя відомого в Україні геолога Василя Леонтійовича Приходька, який багато років очолював геологічну службу ДП “Українська геологічна компанія”

Народився Василь Леонтійович Приходько 18 червня 1951 року в працьовитій селянській родині с. Городині Рожищенського району Волинської області. Уже в 15-річному віці юнак, вступивши до Дрогобицького нафтового технікуму, обирає свій життєвий шлях – геологію, якій присвятив усе своє життя. Після закінчення навчання в технікумі молодий спеціаліст Василь Приходько працює в Казахстані та служить в армії. 1972 року повертається на рідну землю й починає працювати техніком-геологом у Львівській геологічній експедиції, яка була складовою частиною структур відомого тресту “Київгеологія”, що славився високою кваліфікацією фахівців і чималими успіхами й досягненнями в геологорозвідувальному напрямі.

Саме з цього часу й починається складне геологічне життя Василя Леонтійовича, навчання у Львівському університеті, одруження, виховання двох синів. За роки копіткої й наполегливої праці Василь Приходько завдяки таланту й непересічним здібностям, підтримці сім'ї здолав усі щаблі професійного росту від техника-геолога до начальника геологічного відділу Рівненської геологорозвідувальної експедиції, а в січні 2000 року йому довіряють керівництво всіма геологорозвідувальними процесами ПДРГП “Північгеологія” і призначають головним геологом. 2005 року захищає дисертацію, за що йому присуджено науковий ступінь кандидата геологічних наук.

Як головний геолог і висококваліфікований спеціаліст підприємства В. Л. Приходько вирішував питання щодо зміцнення мінерально-сировинної бази регіону та України загалом. За його керівництва виконано чималий перелік приросту запасів гостродефіцитних корисних копалин, зокрема титану, бурштину,



будівельних матеріалів, підземних вод тощо. Він є одним з основних авторів і виконавців програми “Мідь України”. Саме під його проводом здійснювалося наукове обґрунтування геологорозвідувальних робіт, спрямованих на відкриття нових об'єктів для подальшої розвідки та підготовки до промислового освоєння.

За багаторічну самовіддану сумлінну працю та вагомий внесок у розвиток української геології Василя Леонтійовича нагороджено відзнакою Президента України – орденом “За заслуги” III ступеня, Почесною грамотою Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, знаком “Почесний розвідник надр”.

А стоїть за цими всіма здобутками добра, порядна, сумлінна й працьовита людина – Василь Леонтійович Приходько.

Світла пам'ять про нього назавжди збережеться в серцях рідних, колег і друзів.





mruggeo.ukrdgri.gov.ua



Завідувачка редакції — С. О. НЕКРАСОВА
Літературні редактори-коректори —
Р. В. КОРНІЄНКО, Я. І. ВОЗНІЮК
Технічні редактори — А. В. ВОЛКОГОН, І. О. НАГОРНИХ
Комп'ютерна верстка — Б. І. ВОЛИНЕЦЬ
Художній редактор — Б. І. ВОЛИНЕЦЬ

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 182 від 18.09.2000 р.
Здано до набору 27.10.2020
Підписано до друку 29.12.2020
Формат 60х90 ¹/₈
Папір крейдовий
Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 6,5
Обл.-вид. арк. 9. Тираж 300 прим.
Зам. № 327

Адреса редакції та п/п: Київ-114, вул. Автозаводська, 78А
Тел. редакції: 206-35-18, 206-35-20
E-mail: mru@ukrdgri.gov.ua, press.ukrdgri@gmail.com
<http://mruggeo.ukrdgri.gov.ua>