

ISSN 1682-721X

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ MINERAL RESOURCES of UKRAINE УКРАЇНИ



ISSN 1682-721X



9 771682 721002



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC JOURNAL

2'2020

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

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

MINERAL RESOURCES OF UKRAINE

Scientific journal, is published 4 times per year,
June, 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
КВ № 23790-13630ПР 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. Krasnozhon

(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, Є. 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 № 2 від 24.06.2020 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.

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

© УкрДГРІ, 2020

2/2020

ЗМІСТ / CONTENTS

КАЛАШНИК Г. А. / KALASHNYK G.

Перспективи Тимошівсько-Знам'янського потенційного
рідкіснометалевого рудного району Інгульського мегаблока
Українського щита

Prospects of the Tymoshivsko-Znamianskyi potential rare-metal
ore area of Inhulskyi megablock of the Ukrainian Shield

3

БАРЯЦЬКА Н. В. / BARIATSKA N.

Поняття критичної мінеральної сировини –
інструмент стимулювання розвитку надрокористування в Україні
The concept of critical minerals as a mean of stimulate
the development of subsoil use in Ukraine

13

ГРІНЬОВ В. Г., ХОРОЛЬСЬКИЙ А. О. / HRINOV V., KHOROLSKYI A.

Дослідження основ технології оптимального проектування
раціонального користування родовищами цінних копалин
Studies of the basics of technology for optimal design of rational
use of valuable mineral deposits

19

ЛОКТЕВ А. А. / LOKTIEV A.

Температурний режим Закарпатського прогину
Heat regime of Transcarpathian depression

25

ВАСИЛЬЄВА І. В. / VASILEVA I.

Застосування геофізичних досліджень свердловин
під час визначення якісних характеристик вугілля
та фізико-механічних властивостей вуглевмісних порід
Application of geophysical research of wells in determining
the qualitative characteristics of coals and physico-mechanical
properties of containing rocks

32

РУДЬКО Г. І., СОБОЛЬ В. В. / RUDKO H., SOVOL V.

Перспективи нафтогазоносності України на великих глибинах
для нагорування вуглеводневого потенціалу України
Prospects of oil-and-gas-bearing capacity of Ukraine at great depths
for the expansion of hydrocarbon potential of Ukraine

36

БУРАЧОК О. В., ПЕРШИН Д. В., МАТКІВСЬКИЙ С. В., КОНДРАТ О. Р. / BURACHOK O., PERSHYN D., MATKIVSKYI S., KONDRAT O.

Дослідження межі застосування PVT-моделі “чорної нафти”
для моделювання газоконденсатних покладів
Evaluation of black-oil PVT-model applicability for simulation
of gas-condensate reservoirs

43

ШПАК О. М., ГАВРИЛЮК Р. Б., ЛОГВИНЕНКО О. І. / SHPAK O., HAVRYLIUK R., LOHVINENKO O.

Дослідження забруднення геологічного середовища
авіаційним газом у районі аеропорту “Бориспіль”
з використанням математичного моделювання
Research of subsurface contamination with gasoline within
Boryspil airport using mathematical modelling

49

Світлої пам'яті Анатолія Васильовича Лущика
In the blessed memory of Anatolii Vasylovych Lushchik

53

ШАТАЛОВ М. М. / SHATALOV M.

Першовідкривач унікального Кайерканського родовища
кам'яного вугілля в Норильському рудному районі
До 125-річчя українського геолога П. І. Савенка
Discoverer of the unique Kaierkanskyi coal deposit
in the Norylsk ore region
To the 125th anniversary of the ukrainian geologist P. I. Savenko

54

УДК 550.83:553.495:553.493.5

<https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.3-12>

Г. А. КАЛАШНИК, д-р геол. наук, професор (Льотна академія Національного авіаційного університету (ЛА НАУ)), 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>

ПЕРСПЕКТИВИ ТИМОШІВСЬКО-ЗНАМ'ЯНСЬКОГО ПОТЕНЦІЙНОГО РІДКІСНОМЕТАЛЕВОГО РУДНОГО РАЙОНУ ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

PROSPECTS OF THE TYMOSHIVSKO-ZNAMIANSKYI POTENTIAL RARE-METAL ORE AREA OF INHULSKYI MEGABLOCK OF THE UKRAINIAN SHIELD

Репрезентовано результати оцінки перспектив виявлення промислових концентрацій рідкісних і рідкісноземельних елементів у межах Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району Інгульського мегаблока Українського щита. Визначено основні закономірності розподілу рідкіснометалевого зруденіння в Тимошівсько-Знам'янському потенційному рудному районі Інгульського мегаблока Українського щита. Обґрунтовано комплекс критеріїв рідкіснометалевого зруденіння в метасоматитах фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносного типу ураноносної формації Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району: геолого-структурних, геохімічних, радіогеохімічних, радіогідрогеологічних. Представлено характерні локальні особливості проявів рідкіснометалевого зруденіння в дрібних уранових родовищах і великих рудопроявах району досліджень та уранового зруденіння різних генетичних типів, зокрема гідротермального зруденіння жильно-штоковкового типу в мінералізованих зонах розломів. Розроблено рекомендації для проведення подальших досліджень в Тимошівсько-Знам'янському потенційному рудному районі з метою дальшого розвитку сировинної бази рідкісних і рідкісноземельних елементів.

Ключові слова: ураноносна формація, метасоматити фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранового типу, накладене уранове гідротермальне зруденіння жильно-штоковкового типу, Тимошівсько-Знам'янський потенційний рідкіснометалевий рудний район, Інгульський мегаблок, Український щит.

The article presents the results of the assessment of the prospects for discovery of industrial concentrations of rare and rare-earth elements in the Tymoshivsko-Znamianskyi potential rare-metal ore area of Inhulskyi megablock of the Ukrainian Shield. The results of studies of regularities of rare-metal mineralization's placement in Tymoshivsko-Znamianskyi potential ore region of the Inhulskyi megablock of the Ukrainian Shield are presented. The structural control of the great part of the detected geochemical anomalies, geochemical halos, manifestations and ore manifestations by certain systems of rupture faults and their intersection nodes is determined. The typical local features of manifestations of rare metal mineralization in small uranium deposits and large ore manifestations of this region and uranium mineralization of different genetic types, in particular hydrothermal mineralization of vein-stockwork type in mineralized fault zones are presented. According to the degree of manifestation of the complex of criteria, prospective ore and potentially ore nodes are discovered for possible detection of industrial concentrations of rare metals and rare-earth elements within the Tymoshivsko-Znamianskyi potential ore region, as well as uranium ores of various genetic types, in particular superimposed rich hydrothermal mineralization of vein-stockwork type. There were developed recommendations for further research in the Tymoshivsko-Znamianskyi potential ore region with the aim of farther development of rare and rare-earth elements raw material base.

Keywords: uranium-bearing formation, metasomatites of phosphorus-rare-earth-thorium-uranium type, superimposed uranium hydrothermal mineralization of vein-stockwork type, the Tymoshivsko-Znamianskyi potential rare-metal ore area, Inhulskyi megablock, the Ukrainian Shield.

Вступ. На сьогодні актуальним завданням є оцінка можливості виявлення промислових концентрацій рідкісних і рідкісноземельних елементів у межах добре вивчених на Українському щиті урановорудних районів за допомогою аналізу зведених матеріалів результатів геологічних, геохімічних, геофізичних, металогенічних досліджень, що може дати змогу істотно підвищити ефективність геологорозвідувальних робіт за умов мінімальних додаткових витрат [11]. У зв'язку з цим на цьому етапі досліджень, зокрема, є важливим довищення умов локалізації, мінеральної форми і можливих масштабів рідкіснометалевого та рідкісноземельного зруденіння в межах дрібних родовищ і великих рудопроявів урану в польовошпатових метасоматитах фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранового типу ураноносної формації в межах Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району для визначення можливості підвищення їхньої цінності внаслідок

комплексного використання руд та їхнього попутного видобутку під час відпрацювання уранових руд різних генетичних типів.

Аналіз останніх публікацій та виокремлення невирішеної частини проблеми

Майже всі чималі ендегенні концентрації рідкісноземельних і рідкісних елементів, урану й торію приурочені до жорстких структур земної кори – щитів, серединних масивів та консолідованих складчастих систем і зазвичай локалізовані в зонах глибинних довгочасних розломів, з проявленою тектонотермальною активізацією. Поява промислових ендегенних рудоконцентрацій зазначених елементів прямо чи опосередковано зумовлена процесами, що відбулися на підкорових глибинах. Тому регіональні закономірності розміщення зруденіння і породних комплексів, що його вміщують, потрібно шукати переважно в особливостях глибинної будови регіону досліджень.

Український щит (УЩ) є великою докембрійською рідкіснометалевою провінцією [11]. Розвиток рідкіснометалевого

зруденіння в його межах тісно пов'язаний із широким проявом тектономагматичної та тектонометасоматичної активізації, особливо в епохи 2200–1900, 1850–1550, 1200–800 млн років. Дані щодо УЩ засвідчують існування певних загальних закономірностей у розміщенні об'єктів рідкіснометалевого та уранового зруденіння, що зумовлено спільністю глибинних чинників рудоутворення [7]. Провідна роль у промисловому рідкіснометалевому рудоутворенні на УЩ належить глибинним чинникам: мантийним осередковим структурам (діапірам) у сегментах літосфери високого ступеня зрілості та глибинним розломам транслітосферної проникності, що спричинили первинну мантийну сепарацію рудогенних компонентів рідкіснометалевої спеціалізації, глибово-блокові рухи окремих ділянок земної кори, надходження за наскрізними транслітосферними каналами мантийних рудогенних компонентів, підвищену магматичну й метаморфічну активність [8]. Важливу роль безпосередньо в механізмі рідкіснометалевого рудоутворення у верхніх шарах земної кори відігравали метасоматичні процеси, які сприяли мобілізації, перерозподілу та концентрації рудних компонентів під час періодичних етапів тектономагматичної та тектонометасоматичної активізації [5]. За таких умов суттєву роль на фінальній стадії рудоутворення відігравали інтенсивність і повнота розвитку як магматичних серій, так і магматичних процесів.

Поза зоною впливу мантийних осередкових структур рідкіснометалевого рудоутворення на УЩ контролюється винятково зонами глибинних розломів, які зумовлювали глибоку магматичну диференціацію речовини й потужне внесення рідкісних та інших елементів у верхні шари земної кори з підкорових глибин. На решті території УЩ вони трапляються на локальних ділянках у зв'язку з тектонометасоматичними зонами [8].

Кіровоградська металогенічна область територіально приурочена до сегмента літосфери Інгульського мегаблока УЩ високого ступеня зрілості з такими особливостями будови: 1) потужністю літосфери до 250 км; 2) наявністю гранітогнейсового шару підвищеної (10–15 км) потужності; 3) аномально вираженою радіогеохімічною калієвою спеціалізацією метаморфічного субстрату верхньої частини земної кори; 4) наявністю розломних структур транслітосферного проникнення, які здатні досягати гіпсометричного рівня астеносферних областей масштабної генерації ураноносних флюїдів і які характеризують високоамплітудні (від 4–5 до 15 км) зсуви уздовж них на поверхні Мохо, наявністю різко виражених градієнтних зон кутів нахилу поверхні Мохо (до 27,8–54,3°) [7].

У межах Інгульського мегаблока високого ступеня зрілості Корсунь-Новоукраїнська двофазна інтрузія є коровою частиною складного глибинного утворення, у підвалинах якого міститься мантийний діапір. Її можна розглядати як гігантську осередкову структуру з резервуаром частково розплавлених порід на глибині 400–200 км [12]. Ця структура має тривалий переривчасто-пульсаційний розвиток, що засвідчує стабільність глибинного енергетичного (теплого) джерела, яке зумовило її виникнення. У коровій її частині, окрім Корсунь-Новомиргородського й низки невеликих інтрузивних масивів новоукраїнського та корсунь-новомиргородського комплексів, глибинні процеси проявились на досить широкій території у вигляді проявів мантийного магматизму, трубок вибуху та флюїдизатно-експлозивних утворень. Основними магмо- та флюїдопровідними каналами були зони глибинних розломів, активність яких різною мірою відновлювалася в усі основні постпалеопротерозойські епохи діастрофізму.

Лужний магматизм в Інгульському мегаблоці проявився у вигляді невеликих масивів другої субформації габро-сієнітової формації на тлі утворень корсунь-новомиргородського й новоукраїнського комплексів, які, порівнюючи з рапаківі, збагачені цирконієм і ніобієм, а також лантанідами церій-лантанової групи [9]. Головними мінералами-концентратами рідкісних земель і торію в них є ортит, чевкініт, флюорит. Уміст рідкісних земель у них досягає 0,2 %. Рапаківі та рапаківіподібні граніти мають сублужний характер і дещо підвищений уміст радіоактивних елементів у формі ортиту, циркону та апатиту. У північно-східній частині Корсунь-Новомиргородського плутону закартовано невеликий ще слабко вивчений Русько-Полянський масив рідкіснометалевих гранітів. Варіацію розподілу рідкісноземельних елементів (РЗЕ) у русько-полянських гранітах за даними праці [14] визначають варіацією кількості флюориту в цих породах. Флюорит у русько-полянських гранітах є одним з головних акцесорних мінералів-концентраторів РЗЕ [14].

Ще однією особливістю Інгульського мегаблока є розвинене в його межах масштабне гідротермальне уранове зруденіння в карбонатно-натрієвих прирозломних метасоматитах. Під час формування великих за запасами монометальних і комплексних рудних родовищ Інгульського мегаблока УЩ на інтенсивність рудогенезу і спектр рудних компонентів впливали як загальні, так і специфічні умови, які ми виділили за переважними тенденціями зв'язку мінливості металогенічних спектрів великих рудних об'єктів з особливостями глибинної будови літосфери УЩ [11]. У центральній частині УЩ виявлено низку парагенетичних асоціацій в уранових родовищах, зокрема з формуванням поряд з чималими монометальними родовищами урану (Кіровоградський урановорудний район) [6] і значних рудоконцентрацій інших компонентів (U-Fe-V-TR-Sc) (Криворізький урановорудний район) [4]. Унаслідок вивчення їхніх особливостей ми визначили домінантні глибинні чинники формування уран-поліметальних рудних парагенезисів у регіональній металогенічній зональності, їхні зміни в часі, зокрема в зонах телескопованого прояву уранового зруденіння, і тим самим істотно підвищили ефективність проведення геологорозвідувальних робіт [4].

У межах Кіровоградської металогенічної області Інгульського мегаблока УЩ прояви рідкіснометалевої мінералізації мають виражений контроль великими глибинними розломами, або вузлами їхнього перетину між собою, або розломами вищого порядку [7, 8]. Основна маса рудоконцентрацій рідкіснометалевої мінералізації приурочена до західної крайової частини Інгульського мегаблока, що охоплює західне облямування Корсунь-Новоукраїнської двофазної інтрузії (Шполянсько-Ташлицький рідкіснометалевий рудний район [5], а також східні крайові шви Голованівської шовної зони (Бузько-Миронівський, Кам'яномостівсько-Лисянський, Михайлівський, Новопавлівський, Ядлово-Трахтемирівський розломи), до яких приурочений Олексіївсько-Лисогірський рудний район з промисловим урановим зруденінням рідкісноземельно-торій-уранової формації в кремній-калієвих метасоматитах [8]). Шполянсько-Ташлицький рідкіснометалевий рудний та Олексіївсько-Лисогірський урановорудний райони входять до Братсько-Звенигородської металогенічної зони [5].

У східному облямуванні Корсунь-Новоукраїнського склепенево-глибового підвищення основну частину проявів рідкіснометалевої мінералізації контролює Кіровоградська зона розлому, утворюючи Кіровоградську металогенічну зону. Промислове значення Кіровоградського рудного ра-

йону визначають родовища уранової формації в карбонатно-натрієвих метасоматитах з масштабним гідротермальним урановим зруденінням. Кіровоградська зона розлому контролює низку родовищ урану в середньотемпературних карбонатно-натрієвих метасоматитах. Уранове зруденіння в натрієвих метасоматитах є майже монометальним, проте його ранній, більш високотемпературний, малакон-апатитовий (цирконій-фосфорний) мінеральний тип, приурочений до нижньої зони виклинювання рудоносних метасоматитів, характеризується підвищеним умістом торію, ітрію, ітербію, фосфору, цирконію [2]. На нижньому рівні в рудоносних метасоматитах уміст вуглекислоти не перевищує 1 %, рудні тіла потрапляють у контур фосфорного метасоматозу. Загалом для метасоматитів нижнього рівня характерна позитивна кореляція урану з торієм, рідкісними землями, цирконієм, фосфором. Метасоматити нижнього рівня виявлено на Северинському родовищі урану на глибині близько 2000 м, на Центральному – на глибині близько 800 м, на Мічуринському – на глибині близько 1500 м.

Кіровоградська металогенічна рудна зона в її північній частині найбільше насичена об'єктами фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранового типу мінералізації (Ярівське дрібне родовище урану, Тимошівський, Коханівський, Вербівський, Чубівський, Пушкінський уранові та уран-торієві рудопрояви з проявами ітрієвої й рідкісноземельної мінералізації із цирконієм і фосфором). За межами Кіровоградської рудної зони вздовж Мар'їнського розлому на північний схід від вузла його перетинання з Кіровоградським розломом також спостережено розвиток натрій-фосфорного метасоматозу, контрольований розривами вищого порядку (Знам'янський, Демешківський уранові та уран-торієві рудопрояви з досить високими концентраціями фосфору, ітрію та рідкісних земель у натрієвих метасоматитах, Суботський U-Th прояв).

Рідкісні землі в польовошпатових метасоматитах фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранового типу ураноносною формації можуть становити істотний практичний інтерес. Для цього потрібне подальше вивчення складу рідкісноземельної мінералізації та можливості її вилучення з польовошпатових метасоматитів цього типу Інгульського мегаблока УЩ.

Аналіз матеріалів з уранових та уран-торієвих рудопровів у межах та поза межами Кіровоградської рудної зони дав змогу виявити накладену пізнішу, порівнюючи з гранітизаційними та постгранітизаційними утвореннями, гідротермальну жильно-штокверкову мінералізацію (Тимошівський, Знам'янський, Дмитрівський, Демешківський рудопрояви), яка може містити багатші уранові руди, порівнюючи з родовищами урану в карбонатно-натрієвих метасоматитах Кіровоградського рудного району [1]. Для гідротермальної жильно-штокверкової мінералізації характерна наявність настурану, кофініту, ненадквіту у формі прожилків і вкрапленості в асоціації із сульфідами, твердими бітумами та іншими жильними мінералами та ознаками навколожильних змін.

Усе це робить актуальними завданнями: уточнення як рівнів концентрації рідкісних елементів, так і ступеня збігу рідкіснометалевого, рідкісноземельного та уранового зруденіння різних генетичних типів у рудних зонах і тілах зазначених уранових та уран-торієвих об'єктах Тимошівсько-Знам'янського потенційного рудного району; довивчення умов локалізації, мінеральної форми і можливих масштабів рідкіснометалевого та рідкісноземельного зруденіння в межах дрібних уранових родовищ і великих уранових та уран-торієвих ру-

допровів у польовошпатових метасоматитах фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранового типу ураноносною формації в центральній частині Інгульського мегаблока Українського щита; визначення можливості підвищення цінності виявлених дрібних родовищ і рудопровів урану району досліджень унаслідок комплексного використання руд.

Мета досліджень. Метою досліджень є оцінка перспектив Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району Інгульського мегаблока Українського щита.

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

Основні закономірності розподілу рідкіснометалевого зруденіння в Тимошівсько-Знам'янському потенційному рудному районі Інгульського мегаблока УЩ

Роботами КП “Кіровгеологія” в північній частині Кіровоградської металогенічної зони східного екзоконтакту Корсунь-Новомиргородського плутону в різні роки виявлено Ярівське дрібне родовище урану, а також Тимошівський, Чубівський, Вербівський, Коханівський уранові та уран-торієві рудопрояви з досить високими концентраціями фосфору, ітрію та інших рідкісних земель у натрієвих метасоматитах (рис. 1). Вони пов'язані з особливими утвореннями центральної частини Інгульського мегаблока, якими є фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносні метасоматити, що перебувають у просторовому та, імовірно, генетичному зв'язку з ураноносними карбонатно-натрієвими метасоматитами. У західному облямуванні Корсунь-Новомиргородського плутону TR-P-Th-U зруденіння розвинуто істотно слабше і представлено лише одиничним Андріївським уран-торієвим рудопровом.

Розміщені фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносні метасоматити здебільшого безпосередньо в екзоконтакті Корсунь-Новомиргородського плутону, у межах зони заширишки 2,5 км його термального впливу на породи рами, та окремі – у складних тектонічних вузлах на чималій відстані від Корсунь-Новомиргородського плутону, але всі разом містяться в межах єдиного великого за площею протяжного безперервного геохімічного ореолу аномальних концентрацій ітрію і лантанодів, який контролюється ділянкою східного контакту Корсунь-Новомиргородського плутону з рамою, ускладненою Кіровоградською зоною розломів (рис. 1). Ділянки з найконцентрованішою мінералізацією цього типу – Тимошівська, Знам'янська. Уранова мінералізація в них представлена первинними оксидами й урановими чернями, урано-титанати не виявлено. Усе це свого часу дало змогу виділити в центральній частині Інгульського мегаблока УЩ Тимошівсько-Знам'янський потенційний рудний район з Тимошівським і Знам'янсько-Дмитрівським рудними вузлами загальною площею 290 км² (рис. 1).

Радіологічний вік уранової мінералізації в карбонатно-натрієвих метасоматитах і P-TR-Th-U мінералізації родовищ і рудопровів облямування Корсунь-Новомиргородського плутону УЩ майже збігається (табл. 1).

Фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносні метасоматити проявлені в зонах, представлених мілонітовими швами й ділянками відносно слабкого, порівнюючи з карбонатно-натрієвими метасоматитами, об'ємного катаклазу. Вони контролюються широкими смугами субпаралельних швів бластомілонітів і бластокатаклазитів та великими пегматитови-

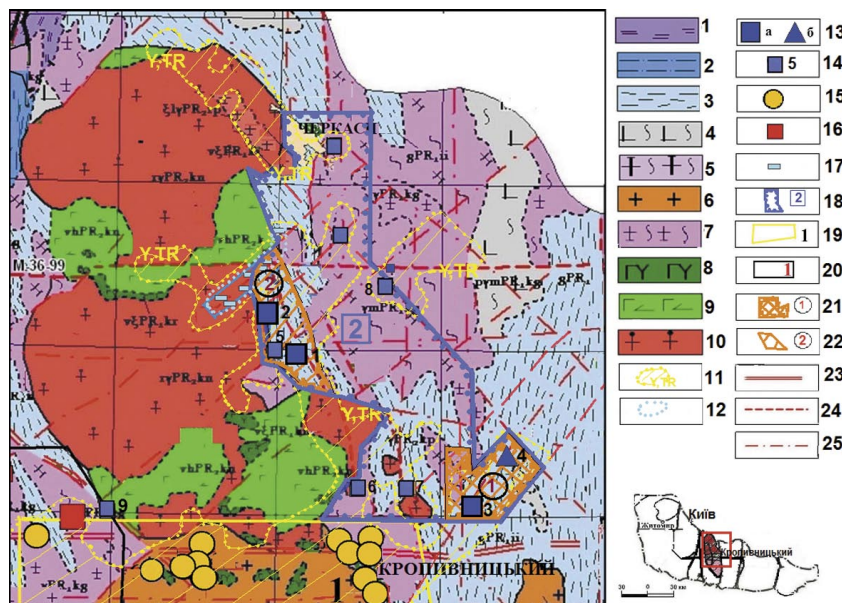


Рис. 1. Схема розміщення Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району в структурі Інгільського мегаблока Українського щита, поєднана з геолого-структурною основою докембрійських утворень (з використанням матеріалів КП «Кіровгеологія»)

(AR₁): 1 – глибоко метаморфізовані вулканогенно-осадкові формації; (AR₂): 2 – метаморфізовані осадкові й вулканогенно-осадкові формації (бузька, росинсько-тікицька серії); палеопротерозой (PR₁): 3 – метаморфізовані осадкові й вулканогенно-осадкові формації (інгуло-інгульська серія), 4 – ультраметаморфічні плагіомігматити, 5 – ультраметаморфічні мігматити, 6 – формація чарнокітоїдів, трахітоїдних гранітів; 7 – формація прогресивних ультраметаморфічних автохтонних і параавтохтонних гранітів; мезопротерозой (PR₂): вулканогенно-плутонічна асоціація: 8 – габро-сієнітова формація; формація анортозит-рапаківі-гранітна (курсунь-новомиргородський комплекс); 9 – габро-лабрадорити; 10 – граніти рапаківі та рапаківіподібні; контури первинних геохімічних ореолів, виявлених за результатами опробування корінних порід на рівні фіксації геохімічних аномалій і вище: 11 – ітрію та рідкісноземельних

елементів (Y, TR); 12 – галію (Ga, 4,5·10⁻⁴ %); 13 – дрібні родовища та великі рудопроїви урану, у межах яких доцільним є довивчення матеріалів для визначення можливості попутного вилучення рідкісних елементів: а – у фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах: 1 – Тимошівський рудопроїв; 2 – Ярівське родовище; 3 – Знам'янський рудопроїв; б – рідкісноземельно-торій-уранової формації в пегматоїдних гранітах: 4 – Дмитрівський рудопроїв; 14 – дрібні уранові та уран-торієві рудопроїви у фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах: 5 – Вербівський; 6 – Пушкінський; 7 – Коханівський; 8 – Чубівський, 9 – Андріївський; 15 – родовища урану в карбонатно-натрієвих метасоматитах; 16 – урановорудні об'єкти рідкісноземельно-торій-уранової формації в кремній-калієвих метасоматитах: а – родовища, б – рудопроїви, 17 – геохімічні аномалії галію; 18 – Тимошівсько-Знам'янський потенційний рідкіснометалевий рудний район; 19 – урановорудні райони: 1 – Кіровоградський, 2 – Криворізький, 3 – Олексіївсько-Лисогірський; 20 – границя Шполянсько-Ташлицького рідкіснометалевого рудного району; 21 – Знам'янсько-Дмитрівський рідкіснометалевий рудний район; 22 – Тимошівський потенційний рідкіснометалевий рудний район; розломи: 23 – мантіїні, 24 – мантіїно-корові, 25 – великі локальні

Таблиця 1. Радіологічний вік уранової та P-TR-Th-U мінералізації облямування Курсунь-Новомиргородського плутону Інгільського мегаблока УЩ

Мінерали, руди	Родовища, рудопроїви	Метод визначення радіологічного віку	Абсолютний вік, млн років
Бранерити	Ватутінське родовище	U-Pb	1790±70*
Настурани	Ватутінське родовище	U-Pb	1670±50*
Рудний концентрат	Ватутінське родовище	U-Pb	1790±70*
Бранерити	Северинське родовище	U-Pb	1770±90*
Настурани	Северинське родовище	U-Pb	1770±90*
Рудний концентрат	Щорсівське родовище	U-Pb	1760±70*
Рудний концентрат P-TR-Th-U	Андріївський рудопроїв	U-Pb	1790±70*
Настурани	Новокостянтинівське родовище	U-Pb	1810**

* За даними праці [10], ** за даними праці [13].

ми тілами або їхніми серіями, що простягаються на декілька кілометрів уздовж рудоконтрольованого розлому, за середньої потужності не більше ніж 100–150 м. Фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносні метасоматити на окремих ділянках цих зон утворюють серії субпаралельно зближених тіл протяжністю перші десятки метрів із сумарною потужністю до 100 м. На окремих ділянках Тимошівського й Коханівського рудопроїв майже немає катаклазу, що фахівці КП «Кіровгеологія» пов'язують з процесом перекристалізації в зоні екзоконтактів Курсунь-Новомиргородського плутону (А. В. Кузьмін та ін., КП «Кіровгеологія»). Це поряд з останніми результатами геохронологічних досліджень, згідно з якими абсолютний вік габро-анортосит-рапаківі курсунь-новомиргородського комплексу становить 1,76–1,74 млрд років [3], свідчить про те, що Курсунь-Новомиргородський плутон сформувався пізніше формування фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитів.

За даними глибинного сейсмондунування (ГСЗ) спостерігається зміщення й ускладнення конфігурації фрагментів зон проникності від поверхні М до денної поверхні в складнобудованих вузлах розломів, які контролюють дрібні родовища й великі рудопроїви урану, істотно збагачені рідкісними елементами (рис. 2).

Досить надійно простежується контроль більшої частини виявлених (Y, TR) геохімічних аномалій, геохімічних ореолів, проявів і рудопроїв тими самими системами розривних порушень й вузлами їхнього перетину (рис. 1). Поєднання розломів субмеридіонального, північно-східного, широтного простягання, складнобудованих вузлів їхнього сполучення між собою і зі структурами інших напрямків, зміщення й ускладнення конфігурації фрагментів зон проникності від поверхні М до денної поверхні в них створили структурні пакети, що зумовили формування тектонометасоматичних вузлів, які контролюють основну масу фосфорно-рідкісно-

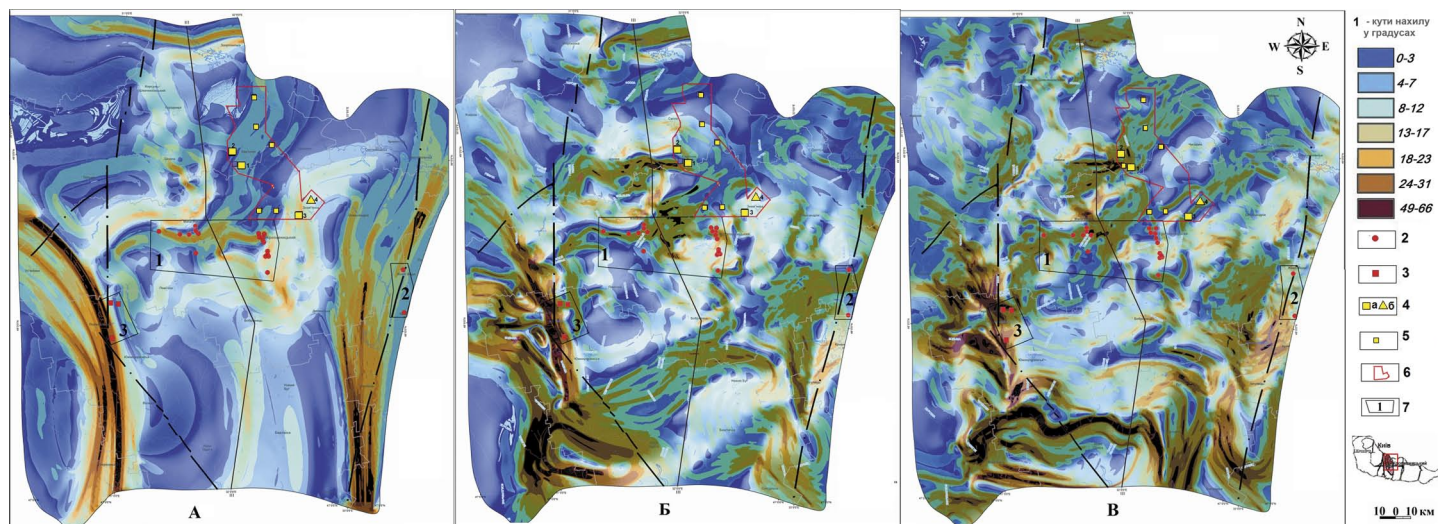


Рис. 2. Карти градієнтних зон поверхонь Мохо (А), “базальтового” (Б), “діоритового” (В) шарів Інгільського мегаблока УЩ (за працею Ю. І. Федоришина [15]) з рудними районами:

1 – кут нахилу поверхонь (у градусах); 2 – у середньотемпературних карбонатно-натрієвих метасоматитах, 3 – калій-уранової формації; 4 – дрібні родовища урану та великі рудопрояви урану, у межах яких доцільним є довивчення матеріалів для визначення можливості попутного вилучення рідкісних елементів: а – у фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах: 1 – Тимошівський рудопрояв, 2 – Ярвське дрібне родовище; 3 – Знам'янський рудопрояв; б – рідкісноземельно-торій-уранової формації в пегматоїдних гранітах: 4 – Дмитрівський рудопрояв; 5 – дрібні уранові та уран-торієві рудопрояви у фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах; 6 – Тимошівсько-Знам'янський потенційний рідкіснометалевий рудний район; 7 – урановорудні райони: 1 – Кіровоградський, 2 – Криворізький, 3 – Олексіївсько-Лисогірський

земельно-торій-уранового зруденіння (рис. 2). Лінійні ділянки таких структур зазвичай уміщують тільки окремі прояви мінералізації та геохімічні аномалії (рис. 2).

Рудоконцентрувальними для високотемпературного зруденіння Р-TR-Th-U типу є переважно розломи меридіональної та північно-східної систем, тоді як у положенні промислового зруденіння в карбонатно-натрієвих метасоматитах Кіровоградського рудного району чітко простежується рудоконцентрувальна роль широтної Суботсько-Мошоринської розломної структури, що може додатково засвідчувати накладений характер середньотемпературного уранового зруденіння в карбонатно-натрієвих метасоматитах, з яким рідкіснометалева мінералізація безпосереднього зв'язку не має. Зазначимо, що геохімічна спеціалізація фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитів (U, Th, Zr, P, TR, Y, частково V, Be) за складом компонентів не відрізняється від карбонатно-натрієвих урановорудних метасоматитів. Відмінність стосується лише вищих до аномальних умістів Th, TR, P, що, імовірно, зумовлено різними температурними умовами мінералоутворення.

Перспективи Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району Інгільського мегаблока УЩ

Раніше проведеними пошуково-розвідувальними роботами на уран на низці уранопроявів Кіровоградської металогенічної області виявлено істотні скупчення урановмісного фторапатиту, малакону (циртоліту), монациту, ортиту, ксенотиму. Ці мінеральні новоутворення розвинуті здебільшого на ділянках, що характеризуються наявністю більш високотемпературного діопсид-геденбергіт-актинолітового різновиду альбітитів з підвищеною апатитовісністю східного облямування Корсунь-Новомиргородського плутону (Ярвське дрібне родовище урану, Тимошівський, Пушкінський, Коханівський, Чубівський, Вербівський уранові та уран-торієві рудопрояви), а також Знам'янською ділянкою, розміщеною уздовж Мар'ївського розлому на північний схід від вузла

його перетинання з Кіровоградським розломом (Знам'янський і Дмитрівський уран-торієві рудопрояви). Максимальний уміст рідкісних земель ітрієвої групи виявлено в рудах Тимошівського, Знам'янського та інших рудопроявів, де вони пов'язані з апатитовою мінералізацією.

Загалом для альбітитів Кіровоградського рудного району з промисловими урановими рудами властива асоціація урану зі свинцем, берилієм, ванадієм, вуглекислою, окисним залізом, для непромислових уранових руд характерні торій, ітрій, ітербій, фосфор, церій, лантан. За набором внесених елементів окремі родовища дуже відрізняються. Концентрації лантанодів та ітрію в межах уранових родовищ у карбонатно-натрієвих метасоматитах Кіровоградського рудного району невисокі й лише в окремих випадках досягають рівня бідних руд. Розміщення їхніх концентрацій за даними КП “Кіровгеологія” дуже нерівномірне і часто не збігається з урановорудними тілами. Помітні концентрації цирконію і рідкісних земель у рудоносних альбітитах з'являються на першій, більш високотемпературній стадії формування, для якої характерна поява апатит-малаконового типу уранових руд.

Наскрізним мінералом-концентратором рідкісних земель для ураноносних карбонатно-натрієвих і фосфор-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитів є монацит. Також мінералами з домішкою рідкісних земель для урановорудних метасоматитів є циртолїт. На окремих ділянках родовищ і рудопроявів урану визначено помітні концентрації ураноносного фтор-apatиту й малакону (циртоліту), що утворюють дрібні рудні тіла (Ватутинське й Мічуринське родовища урану, Рожівський, Улянівський уранові рудопрояви), але найінтенсивніше він проявлений на ділянках, зарахованих до нижнього рівня рудоутворення.

У Р-TR-Th-U метасоматитах з'являється силікатна форма знаходження рідкісних земель у вигляді ортиту. У Р-TR-Th-U метасоматитах мінералами з домішкою рідкісних земель виступають циркон і апатит. Максимальний уміст рідкісних земель ітрієвої групи визначено в рудах Тимошівського,

Знам'янського, Коханівського рудопроявів, де вони пов'язані з апатитовою мінералізацією. Розвиток апатиту простежується на всіх об'єктах Р-TR-Th-U типу мінералізації, що зумовлює високий уміст у рудних метасоматитах фосфору (табл. 2). На Тимошівському, Коханівському, Чубівському і Знам'янському рудопроявах уміст апатиту місцями сягає 30–40 %, переважно в метасоматитах проміжної зони. Виявлено апатит декількох генерацій, зазвичай в асоціації з цирколітом, що містить уран у кількостях до перших десятих часток відсотка. У фосфор-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах уміст цирконію місцями досягає кількох відсотків. Основні мінерали-концентратори цирконію – циркон, цирколіт.

Польовошпатові метасоматити урановорудні й фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносні вирізняються складом рудоутворювальних розчинів та інтенсивністю прояву різних стадій рудоутворювального процесу, що визначає їхню металогенічну спеціалізацію. Для урановорудних альбітитів характерна лише вуглекислота, для фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитів – вуглекислота і фосфатний ангідрид [3]. Проте вуглекислота наявна в усіх типах зазначених рудоутворювальних процесів, але в істотних різних кількостях.

Досить показовими є зміни концентрації вуглекислоти, яка є одним з важливіших компонентів у процесі натрієвого метасоматозу та уранового зруденіння. На родовищах урану в карбонатно-натрієвих метасоматитах у Кіровоградському рудному районі зона максимальних рудних концентрацій приурочена до ділянок підвищених концентрацій вуглекислоти. Між умістом вуглекислоти й ураном в урановорудних альбітитах і збільшенням її концентрації в ряду “бідна-звичайна-багата” руда визначено прямий зв'язок [7]. З-поміж урановорудних альбітитів Кіровоградського рудного району за вмістом вуглекис-

лоти виділяють дві групи об'єктів. До першої групи належать рудні об'єкти з великими ореолами CO₂, серед яких вирізняють ділянки максимальних концентрацій (вище 5 %). Типовий представник – Северинське родовище, з хлорит-гематитовою фацією альбітитів, де максимальні вмісти CO₂ сягають 10–17 % [10]. До другої групи належать рудні об'єкти із чіткими ореолами CO₂, максимальні вмісти яких не піднімаються вище 5 %. Це Ватутинське родовище з рибекіт-егіриновою фацією альбітитів [10]. У незмінених породах, що вміщують альбітити, уміст CO₂ не піднімається вище 0,1–0,2 % (табл. 3).

Для фосфор-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитів на відміну від ураноносних натрієвих метасоматитів не характерні витримані ореоли вуглекислоти, що засвідчує слабкий розвиток натрієвого метасоматозу і наступних гідротермальних стадій. У них вирізняють лише окремі підвищені вмісти CO₂, максимумами яких не перевищують 1,5–2,0 % (рис. 3). Але максимальна концентрація суми рідкісних земель зазвичай спостерігається в разі насичення рудоутворювального розчину одночасно фтором і вуглекислотою [3].

У межах Інгульського мегаблока низка площ у ранзі рудних та потенційно рудних районів і вузлів перспективна на накладене уранове зруденіння гідротермального жильно-штокверкового типу з формуванням багатших уранових руд, порівнюючи з рудами відомих родовищ в ураноносних альбітитах. Деякі з них, зокрема, територіально збігаються з рудними зонами та вузлами Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району.

За результатами попереднього аналізу матеріалів ми визначили об'єкти для детальнішого довивчення наявного матеріалу з метою визначення ступеня збігу рідкіснометалевого, рідкісноземельного та уранового зруденіння різних генетичних типів у рудних зонах і тілах уранопроявів Тимо-

Таблиця 2. Середній уміст елементів в урановорудних карбонатно-натрієвих метасоматитах, фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносних метасоматитах і породах, що їх уміщують, ваг. % (Інгульський мегаблок УЩ) (за даними КП “Кіровгеологія”)

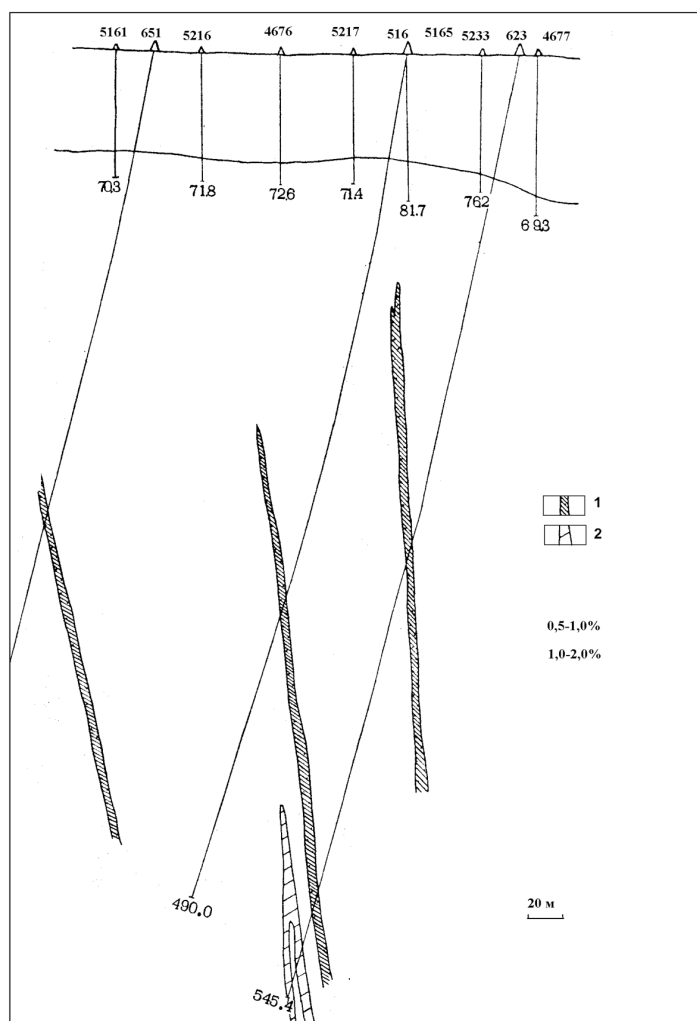
Порода	Кількість визначень	U 10 ⁻⁴	Th 10 ⁻⁴	P 10 ⁻¹	Y 10 ⁻³	Yb 10 ⁻⁴	La 10 ⁻³	Nb 10 ⁻³	Be 10 ⁻⁴	Zr 10 ⁻³
Облямування Корсунь-Новомиргородського плутону										
Альбітити рибекіт-егіринові безрудні	84	19,80	15,90	0,37	1,70	1,70	3,00	0,70	4,10	18,80
Альбітити апогранітні безрудні	36	23,60	14,50	0,28	1,30	1,40	не визн.	0,60	4,90	15,00
Альбітити апогранітні рудні	440	444,00	18,50	0,20	30,70	2,30	не визн.	0,70	12,7	25,80
Сієнітоподібні метасоматити хлорит-епідот-біотитові (гідробіотитові)	22	10,80	13,90	0,44	1,80	1,80	4,00	0,82	4,06	14,50
Сієнітоподібні метасоматити хлорит-епідотові	13	18,00	17,70	0,37	1,6	1,40	4,00	0,60	3,20	12,70
Граніти кіровоградські	291	7,99	12,10	0,43	1,49	1,54	4,00	0,65	2,56	14,02
Граніти новоукраїнські	342	3,90	34,00	0,50	0,75	3,00	2,00	0,9	3,20	20,00
Мігматити	112	7,52	16,30	0,71	2,12	1,82	4,96	0,86	4,06	20,62
Гнейси	127	4,37	8,59	0,63	2,08	2,08	4,27	0,74	4,98	18,12
Амфіболіти	31	3,55	5,02	0,41	1,80	2,47	3,29	0,61	4,41	13,89
Знам'янська ділянка										
Апограніти альбітитові апатитоносні, рудні	36	133,00	62,00	8,20	26,00	33,0	6,00	0,80	0,80	24,00
Альбітити апогранітові апатитоносні, рудні	20	190,00	73,00	7,51	33,60	470	9,70	0,70	5,70	30,00
Гнейси біотитові	41	4,01	11,37	0,61	1,66	1,10	не визн.	не визн.	4,85	13,85
Граніти й адамеліти рівномірнозернисті	45	6,01	22,10	0,27	1,56	0,72	не визн.	не визн.	4,47	12,24
Граніти й адамеліти порфіробластичні	54	7,03	31,21	0,26	0,96	0,64	не визн.	не визн.	3,41	14,88
Гранодіорити й тоналіти біотитові	38	5,53	11,78	0,23	1,29	0,99	не визн.	не визн.	5,12	12,50
Пегматити й граніти апліт-пегматоїдні	22	8,79	29,31	0,22	1,53	0,71	не визн.	не визн.	3,76	8,66
Сієніти	18	5,86	39,88	0,65	1,47	1,30	не визн.	не визн.	5,20	18,62

Примітка: не визн. – не визначали.

Таблиця 3. Параметри розподілу урану та середній уміст CO₂ в ураноносних карбонатно-натрієвих метасоматитах, фосфор-рідкісно-земельно-торій-ураноносних метасоматитах і породах, що їх уміщують (Інгульський мегаблок УЩ) (за даними КП “Кіровгеологія”)*

Назва породи	Кількість визначень	Параметри розподілу урану $n \cdot 10^{-4}$, %			CO ₂ , ваг %
		X	M	S	
Облямування Корсунь-Новомиргородського плутону					
Альбітити рибекіт-егіринові, егірин-рибекітові	32	214	110	210	3,41
Альбітити хлорит-епідотові, епідот-хлоритові	44	374	46	65	3,49
Альбітити гідробіотитовміщувальні	108	189	130	187	2,82
Альбітити андрадитовміщувальні	26	395	120	435	1,84
Сієнітоподібні метасоматити хлорит-епідотові й епідот-хлоритові	311	28	21	24	0,76
Сієнітоподібні метасоматити біотит-гідробіотитовміщувальні	34	26	19	17	0,73
Сієнітоподібні метасоматити з лужними темнокольоровими мінералами	30	20	16	12	0,71
Метасоматити епідот-хлорит-серицитові	30	30,4	12,0	38,0	0,78
Граніти біотитові, гранат-біотитові, порфіробластові, діафторовані	2630	2,05	1,60	1,31	0,28
Граніти біотитові, гранат-біотитові, порфіробластові	1625	1,95	1,95	1,95	0,10
Граніти гіперстен-біотитові (чарнокіти) із вторинними мінералами по амфіболу й гіперстену	64	1,8	1,8	1,8	0,12
Знам'янська ділянка					
Апограніти альбітитові апатитоносні, рудні	36	133	100	75	1,08
Альбітити апогранітові апатитоносні, рудні	20	190	150	160	1,28
Гнейси біотитові	41	4,01	3,36	2,61	0,03
Граніти й адамеліти рівномірнотермістні	45	6,01	4,93	4,19	0,32
Граніти й адамеліти порфіробластичні	54	7,03	6,04	4,17	0,41
Гранодіорити й тоналіти біотитові	38	5,53	4,88	2,93	0,12
Пегматити й граніти апліт-пегматоїдні	22	8,79	3,57	6,19	0,22
Сієніти	18	5,86	5,47	2,22	0,24

* X – середній уміст, M – медіана, S – стандартне відхилення.



шівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району та оцінки можливості підвищення цінності виявлених дрібних родовищ і найбільших уранових та уран-торієвих рудопросяв, які мають чималі концентрації ітрію й рідкісних земель. З-поміж них – Тимошівський потенційний і Знам'янсько-Дмитрівський рудний вузли (рис. 1).

Тимошівський потенційний рідкіснометалевий рудний вузол площею 100 км² розміщений у смузі північно-східного екзоконтакту Корсунь-Новомиргородського плутону і контролюється зоною субмеридіонального Кіровоградського глибинного розлому й складним вузлом його перетину із широтним Тарасівським глибинним розломом, Кіровсько-Новомиргородським та Гюдоським розломами північно-східного простягання і розломами вищих порядків діагонального орієнтування (рис. 1, 3). Найінтенсивніше натрій-фосфорний метасоматоз проявлений на Тимошівській ділянці, розміщеній у зоні східного ендоконтакту Корсунь-Новомиргородського плутону. Тут натрій-фосфорний метасоматоз приурочений до складного вузла перетину Кіровсько-Новомиргородського та Гюдоського розломів північно-східного простягання із субмеридіональною зоною Кіровоградського та широтною зоною Шполянського розломів. Особливістю Тимошівської ділянки прояву зазначеного типу метасоматозу є дуже складна конфігурація контакту з Корсунь-Новомиргородським плутоном і наявність невеликих тіл-сателітів рапаків серед порід рами.

Натрій-фосфорний метасоматоз і спряжена з ним рідкісноземельно-ітрієва мінералізація накладена як на породи рами, так і на рапаківподібні граніти. У породах рами простежено зони протяжністю сотні метрів, складені свіжим

Рис. 3. Ореолі вуглекислоти на Вербівському фосфорно-рідкісноземельно-торій-урановому рудопросяві (матеріали КП “Кіровгеологія”)

Уміст вуглекислоти: 1 – 0,5–1,0 %; 2 – 1,0–2,0 %

таблитчастим плагіоклазом альбіт-олігоклазового складу з умістом апатиту від 3 до 50–70 %. Найбільш апатитонесущими є апогаброві натрові метасоматити. У них визначено вміст ітрію до 0,15 % і лантану до 0,03 % за вмісту фосфору до 6 % (сверд. 541, 542). У сверд. 543 в рапаківіподібних гранітах зафіксовано вміст ітрію 0,03 % і фосфору 1,5 %. Наряду з цим у змінених мігматитах в одній зі свердловин трапляється концентрація ітрію 0,02 %, лантану 0,03 %. Не тільки структурна приуроченість зруденіння, але й накладена мінералізація на різні типи порід свідчить про її епігенетичний характер. Той самий тип мінералізації виявлено на Ярівському дрібному урановому родовищі, де в альбітитах наявні гнізда новоутвореного малакону, апатиту, монациту й ксенотиму. У штуфах уміст фосфору досягає 15 %, ітрію 0,3 %, суми лантанодів 0,4 %. На Чубівському урановому рудопрояві розкрито сієніти з умістом 0,15 % ітрію та 0,03 % берилію.

Низькою свердловин ітрієву та рідкісноземельну мінералізацію виявлено в північно-східному контакті Корсунь-Новомиргородського плутону з породами рами у вузлі перетину Кіровоградського й Олімпіадівського розломів. Тут у рапаківіподібних і біотитових гранітах кіровоградського комплексу визначено вміст до 0,5 % ітрію та до 0,16 % суми рідкісних земель. Окрім того, роботами ВГО “Північгеологія” у 80-х роках ХХ сторіччя тут зафіксовано прояв ніобію з умістом до 0,15 %. До цього вузла приурочено рідкісноземельні рудопрояви в гнейсах і сієнітах з умістом від 0,4 до 0,9 % суми рідкісних земель. У вузлі перетину Олімпіадівського розлому із зоною Глодоського розлому північно-східного простягання виявлено рудопрояв, у якому концентрація як ітрію, так і суми рідкісних земель досягає 1 %.

Загалом під час визначення контурів рудних і потенційно-рудних зон та вузлів Р-TR-Th-U типу мінералізації як основні локальні критерії та ознаки можливо використовувати такі: складнопобудовані тектонічні вузли перетину глибинних розломів певних простягань (структурний чинник), наявність фосфорно-рідкісноземельних-торій ураноносних метасоматитів; геохімічні ореоли ітрію, лантану, меншою мірою берилію, ванадію, радіогенного свинцю, цирконію, фосфору; радіоактивні аномалії з інтенсивністю 3–300 пА/кг та прямі ознаки уранового зруденіння; радіогеохімічні аномалії урану, торію, Th/U співвідношення; радіогідрогеологічні аномалії (уміст у підземних водах $Ra > 5 \cdot 10^{-11}$ г/л; $Rn > 2000\text{--}3500$ Бк/м³, $U > 5 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-5}$ г/л, $U^{234}/U^{238} > 5\text{--}8$). Найпоказовішими є структурний і геохімічний критерії з огляду на особливості геологічної структури території досліджень, зокрема наявність зони впливу мантийної осередкової структури та поза її межами контроль винятково складнопобудованими тектонічними вузлами перетину глибинних розломів (рис. 2).

Тимошівський потенційний рідкіснометалевий рудний вузол майже збігається з Кам'янським вузлом уранового зруденіння гідротермального жильно-штокеркового типу, що може суттєво підвищити практичну цінність уранопроявів унаслідок збігу рідкіснометалевого та уранового зруденіння різних генетичних типів у рудних зонах і тілах уранопроявів та можливого видобутку комплексних руд.

Кам'янський рудний вузол охоплює Ярівське дрібне родовище урану, Тимошівський, Польовий і Зарічний уранові рудопрояви, шість проявів уранової мінералізації, п'ять радіоактивних аномалій, а також низку геохімічних аномалій ітрію та рідкісних земель, які утворюють єдиний ореол. Територію вузла вивчили спеціалізованими зйомками на уран за масштабом 1:50 000 та збільшенням на 90 %. Із центральною й півден-

ною частинами вузла збігається радіогідрогеологічний ореол з аномаліями, які мають ознаки рідкісноземельно-торій-уранової мінералізації в пегматоїдних гранітах, а в центральній частині – з урановим зруденінням у високотемпературних кремній-калієвих метасоматитах. Із Ярівським родовищем, окрім того, пов'язана аномалія, характерна для уранового зруденіння в середньотемпературних натрієвих метасоматитах.

У Кам'янському рудному вузлі проявлена завершальна стадія палеопротерозойської гранітизації, з якою пов'язаний розвиток пегматоїдних гранітів, що мають акцесорну, зокрема й уранітову мінералізацію рідкісноземельно-торій-уранової формації (Тимошівський рудопрояв, Черкаський, Чубівський, Михайлівський, Вербівський прояви) і прояви кремній-калієвого метасоматозу, на які накладений катакlastичний метаморфізм і пов'язаний з ним діафорез в умовах фації зелених сланців, виражений у мінеральних асоціаціях, характерних для пропілітів. Зруденіння у високотемпературних кремній-калієвих метасоматитах проявлене слабо. Поряд з цим, у Кам'янському рудному вузлі з різною інтенсивністю розвинутий середньотемпературний натрієвий метасоматоз, з яким на низці ділянок пов'язане уранове зруденіння епохи 1800–1750 млн років (Чубівський прояв, Ярівське дрібне родовище, Польовий і Зарічний рудопрояви). До того ж місцями проявлена уранова мінералізація у формі настурану, кофініту та вторинних мінералів (силікати, черні) з ізотопним віком 2130–2100 млн років (Польовий прояв, Ярівське дрібне родовище, Тимошівський прояв) і 1000–780 млн років (Східно-Хутірський і Чубівський прояви). У східній частині вузла у Східно-Хутірському прояві визначено ізотопний вік уранової мінералізації 2650 млн років. Для вузла загалом характерне неістотне поширення сульфідної мінералізації, яке є тільки на Тимошівському рудопрояві. Жильно-штокеркова мінералізація в межах вузла розвинута, але вивчено її слабо. Ярівське дрібне уранове родовище, Польовий і Зарічний рудопрояви приурочені до апогранітних та апогнейсових альбітитів хлорит-актиноліт-гідрослюдистого складу з карбонатами, апатитом, андрадитом у супроводі окварцювання. Місцями виявлено розвиток кроситу й рибекіту [1].

Знам'янсько-Дмитрівський рудний вузол приурочений до складного вузла перетину Мар'ївського регіонального розлому північно-східного простягання, Інгуло-Кам'янського регіонального розлому меридіонального простягання з широтною Суботсько-Мошоринською зоною розломів (рис. 1, 2). Зазначений рудний вузол уміщує Знам'янський і Дмитрівський уран-торієві рудопрояви, що мають чималі концентрації ітрію, рідкісних земель і фіксуються аномальними геохімічними ореолами цих елементів (рис. 1). Лише ділянки Знам'янського та Дмитрівського рудопроявів вивчено спеціалізованими зйомками масштабу 1:10 000, решта території – у масштабі 1:50 000 та дрібніше. Вузол відбивається радіогідрогеологічними ореолами, які мають численні аномалії в тріщинно-грунтових водах. Переважають аномалії з гідрохімічними ознаками рідкісноземельно-торій-уранової мінералізації в пегматоїдних гранітах. Менше проявлені аномалії з ознаками уранового зруденіння у високотемпературних кремній-калієвих метасоматитах. На великій частині проявлена грейзенізація, локальніше проявлені пропілітизація та березітизація. На окремих ділянках, які контролюються переважно розривними структурами вищих порядків, виявлено низькотемпературні гідротермальні зміни типу гумбітів та аргілізитів.

На Дмитрівському уран-торієвому рудопрояві в складному вузлі перетину Мар'ївського північно-східного простягання та

Інгуло-Кам'янського субмеридіонального простягання розломів з Олімпіадівським розломом північно-західного простягання та Суботсько-Мошоринським субширотного простягання за 10 км на північний схід від Знам'янського рудопроаяву за низкою свердловин визначено вміст ітрію від 0,03 до 0,5 % за вмісту суми рідкісних земель до 0,95 %. Низкою свердловин у межах Знам'янського рудопроаяву виявлено концентрацію ітрію до 0,15 % і від 0,4 до 0,6 % суми лантаноїдів.

Аналіз матеріалів дав змогу виявити в межах Знам'янського рудопроаяву накладену, пізнішу, порівнюючи з гранітизаційними та постгранітизаційними утвореннями, гідротермальну жильно-штокверкову мінералізацію. Для гідротермальної мінералізації характерна наявність настурану, кофініту, ненадквіту у формі прожилків і вкрапленості в асоціації із сульфідами та іншими жильними мінералами з ознаками навколожильних змін. У межах Знам'янського рудопроаяву, окрім уранової мінералізації епох 2200–1900 та 1850–1550 млн років, також зафіксовано уранову мінералізацію, що відповідає епосі 1200–800 млн років [1].

Дмитрівський рудопроаяв пов'язаний з окварцованими та мікроклінованими пегматоїдними гранітами і представлений украленістю уранініту в асоціації із цирконом, малаконом, ксенотимом. Для цього рудопроаяву характерний широкий розвиток пегматоїдних гранітів, які мають акцесорну мінералізацію рідкісноземельно-торій-уранової формації, а також грейзенизацію порід, яка сприяла певному зниженню торій-уранового відношення в акцесорній мінералізації через появу уранініту.

Загалом перспективи Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району можуть істотно розширюватися насамперед завдяки Знам'янсько-Дмитрівському рудному вузлу (Знам'янська ділянка).

Висновки та основні напрями подальших досліджень

Унаслідок виконаних досліджень визначено, що Тимошівсько-Знам'янський потенційний рідкіснометалевий рудний район має досить чітку проявлену уран-торій-цирконій-фосфор-рідкісноземельну спеціалізацію і його перспективи можуть істотно розширюватися.

Визначено майже повсюдний регіональний контроль рудоносних фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранових метасоматитів зонами глибинних і регіональних довгочасних розломів, передусім субмеридіонального й північно-східного простягання; складнобудованими вузлами перетину зазначених зон з великими розривами інших простягань.

Обґрунтовано комплекс регіональних критеріїв рідкіснометалевого зруденіння в метасоматитах фосфорно-рідкісноземельно-торій-ураноносного типу ураноносної формації Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району: геолого-структурних, геохімічних, радіогеохімічних, радіогідрогеологічних.

Виконано довивчення матеріалів за окремими уранопроаявами Тимошівсько-Знам'янського потенційного рудного району, зокрема Тимошівському, Знам'янському, Дмитрівському, Ярівському, Чубівському урановим та уран-торієвим та іншим, для уточнення як рівнів концентрації рідкісних елементів, так і ступеня збігу рідкіснометалевого та уранового зруденіння різних генетичних типів у рудних зонах і тілах. Проведені дослідження дають змогу зробити висновок щодо можливості підвищення цінності виявлених дрібних уранових родовищ і великих рудопроаявів у польовошпатових метасоматитах фосфорно-рідкісноземельно-торій-уранового типу ураноносної формації Тимошівсько-Знам'янського потенційного рідкіснометалевого рудного району через збіжність рідкісно-

металевого та уранового зруденіння різних генетичних типів, зокрема накладеного багатого гідротермального зруденіння жильно-штокверкового типу в рудних зонах і тілах уранопроаявів та можливого видобутку комплексних руд. Перспективи Тимошівсько-Знам'янського потенційного рудного району можуть суттєво розширюватися. На першочергову увагу заслуговує Знам'янсько-Дмитрівський рудний вузол.

У Тимошівсько-Знам'янському потенційному рідкіснометалевому рудному районі в подальшому потрібно провести додаткові прогнозно-геологічні роботи в масштабі 1:50000 по всій території району для виявлення нових рудоносних зон і вузлів з накладеним багатим гідротермальним жильно-штокверкового типу урановим зруденінням і комплексним ураново-рідкісноземельним з орієнтуванням робіт на такий комплекс елементів: U, Th, TR, Zr, V, Be, Nb, As, Pb, Zn.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анисимов В. А. Закономерности локализации, прогнозные критерии и поисковые признаки уранового оруденения гидротермального жильно-штокверкового типа в породах фундамента Украинского щита (модель месторождения) // Тезисы докладов научно-практической конференции “Кировгеологии – 60 лет: история, достижения, перспективы” (Киев, 22–23 ноября 2007 г.), КП “Кировгеология”, 2007. – С. 36–38.
2. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Белевцев Я. Н., Коваль В. Б., Бакаржиев А. Х. и др.; под ред. Я. Н. Белевцева, В. Б. Ковалья. – К.: Наукова думка, 1995. – 376 с.
3. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой / Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н. – К.: Наукова думка, 2008. – 240 с.
4. Калашник А. А. Глубинные факторы формирования крупных U-V-TR-Sc месторождений в метасоматитах на Украинском щите / А. А. Калашник // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия. Геология. – 2015. – № 2. – С. 68–72.
5. Калашник А. А. Глубинные факторы формирования крупных промышленных месторождений лития в редкометалльных пегматитах Шполян-Ташлыкского рудного района УЩ / Статья 1. Основные физико-химические свойства элементов парагенезиса руд в редкометалльных пегматитах Шполян-Ташлыкского рудного района и геохимическая характеристика метасоматитов / А. А. Калашник // Минеральные ресурсы Украины. – 2015. – № 2. – С. 12–21.
6. Калашник А. А. Закономерности формирования урановорудных метасоматитов в связи с особенностями глубинного строения литосферы Украинского щита / А. А. Калашник // Вестн. Киевского нац. университета. Сер. Геология. – 2016. – № 3. – Т. 74. – С. 51–57.
7. Калашник А. А. Прогнозирование крупных эндогенных месторождений урана с учетом особенностей строения литосферы Украинского щита / А. А. Калашник // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия. Геология. – 2014. – № 2. – С. 5–12.
8. Калашник Г. А. Перспективы выявления промышленных концентраций рідкісних і рідкісноземельних елементів в Олексіївсько-Лисогірському урановорудному районі Інгульського мегаблока Українського щита / Г. А. Калашник // Минеральные ресурсы Украины. – 2019. – № 3. – С. 3–10.
9. Кривдик С. Г. Фаялит-геденбергитовые сиениты юго-восточной части Корсунь-Новомиргородского плутона / С. Г. Кривдик, С. М. Цымбал, В. Ф. Раздорожный // Геологический журнал. – 2000. – № 6. – С. 43–53.
10. Крупенников В. А. Мантийный щелочной флюидно-магматический петрогенезис как основной рудообразующий процесс / В. А. Крупенников // Матер. II Межд. симпозиума “Уран-ресурсы, производство” (Москва, 26–28 ноября 2008 г.). – М.: Изд-во ФГУП ВИМС, 2008. – С. 28–31.
11. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые / Д. С. Гурский, К. Е. Есипчук, В. И. Калинин и др. – Киев-Львов: Изд-во “Центр Европы”, 2005. – 785 с.
12. Оровецкий Ю. П. Горячие пояса Земли: Монография / Ю. П. Оровецкий, В. П. Коболев; НАН Украины. Ин-т геофизики им. С. И. Субботина. – К.: Наукова думка, 2006. – 312 с.

13. Пономаренко О. М. Радіогеохронологія процесів метасоматозу в кристалічних породах УЩ/О. М. Пономаренко, Л. М. Степанюк, С. Г. Кривдік, В. О. Синицин: тези доповідей наукової конференції "Теоретичні питання і практика дослідження метасоматичних порід і руд" (Київ, 14–16 березня 2012 р.). – К.: ИГМР, 2012. – С. 64–66.

14. Пономаренко О. М. Розподіл рідкісноземельних елементів у русько-полянських гранітах та акцесорних флюоритах/О. М. Пономаренко, О. В. Заяць, А. І. Самчук, І. А. Швайка, Л. І. Проскурка// Мінеральні ресурси України. – 2019. – № 4. – С. 3–8.

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

REFERENCES

1. Anisimov V. A. Localization patterns, forecast criteria and exploratory signs of uranium mineralization of the hydrothermal vein stockwork type in the rocks of the foundation of the Ukrainian Shield (field model)//Abstracts of the reports of the scientific and practical conference "Kirovgeology – 60 years: history, achievements, prospects (Kiev, 22–23 noyabrya 2007). – КР "Kirovgeologija", 2007. – P. 36–38. (In Russian).

2. Genetic types and regularities of location Uranium of deposits in Ukraine/Belevcev Ja. N., Koval V. B., Bakarzhiev A. H. and others; pod red. Ja. N. Belevceva, V. B. Kovalya. – Kyiv: Naukova dumka, 1995. – 376 p. (In Russian).

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

4. Kalashnik A. A. Deep factors of forming of major U-V-TR-Sc deposits in metasomatites within The Ukrainian Shield//Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya. Geologiya. – 2015. – № 2. – P. 68–72. (In Russian).

5. Kalashnik A. A. Deep factors of formation of lithium major industrial deposits in rare-metal pegmatites of Shpolyano-Tashlytsky ore region of UkrSh/Article 1. The basic physical and chemical properties of elements of ore paragenesis in rare-metal pegmatites of Shpolyano-Tashlytsky ore region and geochemical characteristics of metasomatites//Mineralni resursy Ukrainy. – 2015. – № 2. – P. 12–21. (In Russian).

6. 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. Heolohiia. – 2016. – № 3. – V. 74. – P. 51–57. (In Russian).

7. Kalashnik A. A. Prognostication of major endogenous uranium deposits with take into account to features of the Ukrainian Shield lithosphere structure//Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya. Geologiya. – 2014. – № 2. – P. 5–12. (In Russian).

8. Kalashnyk G. A. Prospects for discovery of industrial concentrations of rare and rare-earth elements in the Alekseevsko-Lysogorskiy uranium-ore area of Ingulskiy megablock of the Ukrainian Shield//Mineralni resursy Ukrainy. – 2019. – № 3. – C. 3–10. (In Ukrainian).

9. Krivdik S. G., Cymbal S. M., Razdorozhnyy V. F. Fayalite-hedenbergite syenites of the southeastern part of the Korsun-Novomirgorod pluton//Geologicheskij zhurnal. – 2000. – № 6. – P. 43–53. (In Russian).

10. Krupennikov V. A. Mantle alkaline fluid-magmatic petrogenesis as the main ore-forming process//Mater. II Mezhd. simpoziuma "Uran-resursy, proizvodstvo" (Moskva, 26–28 noyabrya 2008). – Moskva: Izd-vo FGUP VIMS, 2008. – P. 28–31. (in Russian).

11. Metallic and nonmetallic minerals of the Ukraine. Volume 1. Metallic minerals/D. S. Gurskij, K. E. Esipchuk, V. I. Kalinin and dr. – Kiev-L'vov: Izd-vo "Centr Evropy", 2005. – 785 p. (In Russian).

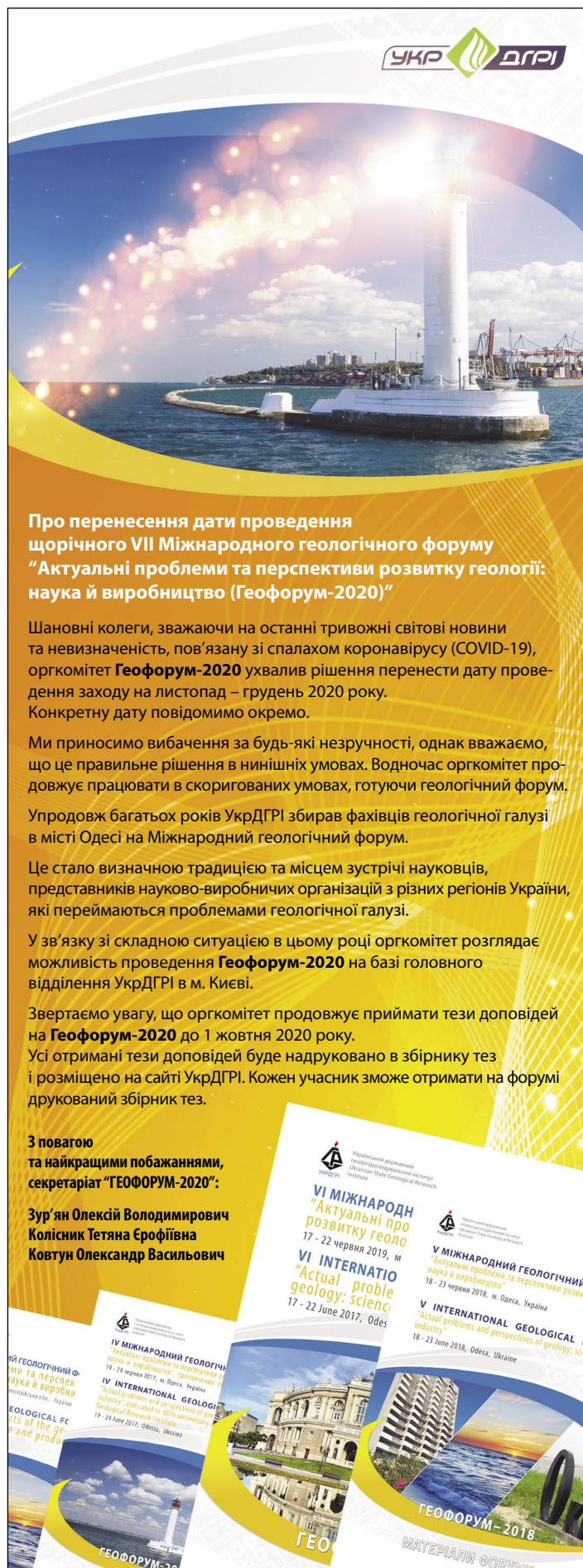
12. Oroveckij Ju. P., Kobolev V. P. Hot belts of the Earth: Monograph. NAS of Ukraine. Institute of Geophysics named S. I. Subbotin. – Kyiv: Naukova dumka, 2006. – 312 p. (In Russian).

13. Ponomarenko O. M., Stepaniuk L. M., Kryvdik S. H., Synytsyn V. O. Radiogeochronology of metasomatites processes in crystal rocks of the UkrSh//Tezy dopovidei naukovoї konferentsii "Teoretichni pytannia i praktyka doslidzhennia metasomatichnykh porid i rud" (Kyiv, 14–16 bereznia 2012). – Kyiv: IHMR, 2012. – P. 64–66. (In Ukrainian).

14. Ponomarenko O., Zaiats O., Samchuk A., Shvaika I., Proskurka L. Distribution of rare Earth elements in Ruska Poliana granites and accessory fluorites//Mineralni resursy Ukrainy. – 2019. – № 4. – P. 3–8. (In Ukrainian).

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

Рукопис отримано 14.05.2020.



Про перенесення дати проведення щорічного VII Міжнародного геологічного форуму "Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво (Геофорум-2020)"

Шановні колеги, зважаючи на останні тривожні світові новини та невизначеність, пов'язану зі спалахом коронавірусу (COVID-19), оргкомітет **Геофорум-2020** ухвалив рішення перенести дату проведення заходу на листопад – грудень 2020 року. Конкретну дату повідомимо окремо.

Ми приносимо вибачення за будь-які незручності, однак вважаємо, що це правильне рішення в нинішніх умовах. Водночас оргкомітет продовжує працювати в скоригованих умовах, готуючи геологічний форум.

Упродовж багатьох років УкрДГП збирав фахівців геологічної галузі в місті Одесі на Міжнародний геологічний форум.

Це стало визначною традицією та місцем зустрічі науковців, представників науково-виробничих організацій з різних регіонів України, які переймаються проблемами геологічної галузі.

У зв'язку зі складною ситуацією в цьому році оргкомітет розглядає можливість проведення **Геофорум-2020** на базі головного відділення УкрДГП в м. Києві.

Звертаємо увагу, що оргкомітет продовжує приймати тези доповідей на **Геофорум-2020** до 1 жовтня 2020 року. Усі отримані тези доповідей буде надруковано в збірнику тез і розміщено на сайті УкрДГП. Кожен учасник зможе отримати на форумі друкований збірник тез.

З повагою та найкращими побажаннями, секретаріат "ГЕОФОРУМ-2020":

Зур'ян Олексій Володимирович
Колісник Тетяна Єрофіївна
Ковтун Олександр Васильович

VI Міжнародний геологічний форум "Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво"
17 - 22 червня 2019, м. Одеса, Україна

VI INTERNATIONAL GEOLOGICAL FORUM "Actual problems and perspectives of geology: science and production"
17 - 22 June 2019, Odessa, Ukraine

V Міжнародний геологічний форум "Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво"
18 - 23 червня 2016, м. Одеса, Україна

V INTERNATIONAL GEOLOGICAL FORUM "Actual problems and perspectives of geology: science and production"
18 - 23 June 2016, Odessa, Ukraine

IV Міжнародний геологічний форум "Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво"
19 - 24 червня 2017, м. Одеса, Україна

IV INTERNATIONAL GEOLOGICAL FORUM "Actual problems and perspectives of geology: science and production"
19 - 24 June 2017, Odessa, Ukraine

ГЕОФОРУМ-2018

МАТЕРІАЛИ ФОРУМУ

УДК 330:553

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.13-18>

Н. В. БАЛЯЦЬКА, д-р геол. наук, головний геолог (ТОВ “Геологічна сервісна компанія”), BariatskaN@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8068-2464>, <https://www.linkedin.com/in/bariatska-nataliia-78b2011a3/>

N. BARIATSKA, doctor in geology, chief geologist of Geological Service Company LLC, BariatskaN@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8068-2464>, <https://www.linkedin.com/in/bariatska-nataliia-78b2011a3/>

ПОНЯТТЯ КРИТИЧНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ – ІНСТРУМЕНТ СТИМУЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ

THE CONCEPT OF CRITICAL MINERALS AS A MEAN OF STIMULATE THE DEVELOPMENT OF SUBSOIL USE IN UKRAINE

У розвинених країнах світу переліки критично важливих корисних копалин (матеріалів, різновидів мінеральної сировини) використовують для визначення й стимулювання пріоритетних напрямів розвитку мінерально-сировинної бази. Критичність мінеральної сировини визначається здебільшого важливістю для економіки й ризиком дефіциту. У статті наведено огляд та аналіз термінів, переліків і методик визначення критичних різновидів мінеральної сировини (корисних копалин) для різних регіонів і країн світу. Також проаналізовано стан і перспективи використання загальносвітової практики для стимулювання певних напрямів розвитку мінерально-сировинної бази України.

Ключові слова: критична мінеральна сировина, критичні корисні копалини, стратегічні корисні копалини, розвиток мінерально-сировинної бази України.

Developed countries use a list of critical minerals to identify and stimulate priority areas for the mineral resource base development. The article provides an overview and main features of the terms “critical minerals”, “critical elements”, “critical commodities”, “critical materials”, “critical elements”.

The criticality parameters (indicators) are supply risk and economic importance, production concentration, changing the size of the market and geological resources, market dynamics (changing prices). Various methods for assessment the criticality of minerals are analyzed in the article. Lists of critical minerals USA, Australia, EU, Canada are compared. The amount and names of critical minerals vary from region to region and may change over time.

An analogue of “critical minerals” was “strategic minerals”, which existed in Ukrainian law until 2016. This term was inherited from the USSR and implies minerals, which are mainly used in the military industry.

Following the example of developed countries, the legitimization and application of the concept and list of critical minerals can be a mechanism to stimulate the development of certain areas of geological exploration and mining. For this, it is necessary to determine the list of critical minerals, adapting the existing world advanced methods. Obviously, this requires special research, including marketing studies, but we can preliminarily assume which minerals will make the list and which are candidate minerals. Most likely, the list of critical minerals for Ukraine will differ significantly from the list of strategic minerals.

Providing of such list in law would give certain advantages and preferences (in particular tax) to companies that perform geological exploration and mining of listed minerals in Ukraine.

Keywords: critical raw materials, critical minerals, strategic minerals, development of the mineral resource base of Ukraine.

Тема мінеральних ресурсів у глобальній економіці з огляду на їхню природну обмеженість набуває стратегічного значення. Забезпеченість країни (або регіону) сировиною є чинником економічної безпеки, автономності та засобом страхування від глобальних криз. Сучасне суспільство дедалі більше залежить від високотехнологічних товарів, для яких характерне використання рідкісних елементів.

Мінеральна сировина потрібна не лише для виробництва широкого спектра повсякденних товарів і послуг, але й для розвитку інновацій, зокрема для розроблення більш ефективних та екологічних технологій. Пришвидшення інноваційних технологічних циклів і швидкий поступ розвиткових країн зумовили збільшення світового попиту на високопопулярні метали й мінерали. Забезпечення доступу до стабільних поставок багатьох різновидів сировини стало серйозною проблемою для національних і регіональних економік з обмеженим виробництвом (наприклад, економіки ЄС), які залежать від імпорту багатьох корисних копалин, зокрема й критично важливої мінеральної сировини (critical minerals).

Сучасне поняття критичних елементів (critical elements) з'явилося у Сполучених Штатах до початку Другої світової війни й було легалізовано Законом про нарощення страте-

гічних і критичних матеріалів, який стосувався забезпечення насамперед військової промисловості (Strategic and Critical Materials Stock Piling Act, 1939). Закон, прийнятий на 76-й сесії Конгресу, підписав 32-й президент США Франклін Рузвельт 7 червня 1939 року.

Починаючи з 80-х років XX сторіччя значення критичності дещо змінилося, підкреслюючи важливість рідкісних хімічних елементів, які використовуються в інноваційних технологіях, і для виробництва високотехнологічних товарів.

У західній літературі є багато визначень таких понять, як “критична корисна копалина” (critical mineral), “критична сировина” (critical commodity, critical material), “критичний елемент” (critical element).

Для прикладу, Сара Гейс і Ерін Маккаллоу з університету Аляски визначають критичний елемент (critical element) як цінний складник мінеральної сировини, що має ризики порушення постачання й слугує важливою меті [7].

Індра Еверлан (спеціалістка з енергетичної політики Норвезького університету) вважає, що “критичні матеріали” – це широкий термін, що стосується сировини, яка не має сучасних замінників і яку більшість країн-споживачів імпортує від одного або кількох виробників [12].

Згідно із сайтом американського Інституту геологічних наук (The American Geosciences Institute), “критичні корисні

копалини” (critical minerals) – це важливі для економіки корисні копалини, постачання яких може бути порушено [4].

Спеціалісти європейського Союзу критичної сировини (Critical Raw Materials Alliance) визначають “критичну сировину” (critical raw materials) як економічно й стратегічно важливу для європейської економіки сировину з високими постачальними ризиками [18].

Відповідно до визначення провідної наукової геологічної організації при уряді Австралії (Geoscience Australia) критично важливими корисними копалинами є метали і неметали, які вважають життєво важливими для економічного добробуту великих і розвиткових економік світу, але з постачанням яких можуть виникати проблеми через геологічний дефіцит, геополітичні проблеми, торгівлю політикою або інші чинники [3].

Головними характерними ознаками критичної мінеральної сировини (корисної копалини) є її важливість для економіки й ризики дефіциту. Різновиди мінеральної сировини, які мають важливі напрями використання й стикаються з потенційними перебоями в постачанні, мають вирішальне значення для економічної й національної безпеки країни або регіону [14]. Стратегія щодо критичної мінеральної сировини (critical mineral strategy) в розвинених країнах у всьому світі є основою урядової політики й плану дій для сектору критичних корисних копалин.

Деякі країни, наприклад члени Європейського Союзу, розробляють спільну стратегію й затверджують спільні переліки критичних корисних копалин.

Зокрема, Канада й США мають спільні інтереси у сфері забезпечення критично важливої мінеральної сировини й гарантування майбутньої конкурентоспроможності канадської та американської гірничодобувної промисловості. У грудні 2019 року країни завершили розроблення спільного Плану дій щодо нарощення критично важливих корисних копалин на виконання завдання президента США Д. Трампа й прем'єр-міністра Канади Д. Трюдо, сформульованого в червні 2019 року [2, 17]. Співпраця в межах Плану дій передбачає забезпечення критично важливими корисними копалинами стратегічних галузей промисловості й оборони, моделювання та зміцнення ланцюгів постачання, поліпшення обміну інформацією про критичні мінеральні ресурси, спільну роботу з третіми країнами.

Чинниками критичності (criticality) мінеральної сировини, з одного боку, є зменшення світових запасів, а з іншого – стрімке збільшення різновидів мінеральної сировини, які використовуються в новітніх технологіях (високотехнологічних секторах економіки). Важливим чинником критичності є можливість та обсяги рециклінгу (повторного використання). Для визначення ступеня критичності мінеральної сировини надзвичайно важливим є також аналіз її поширення, обсягів добування, внесок у розвиток економік різних країн у світі [9].

У спрощеному вигляді методику визначення ступеня критичності корисних копалин можна сформулювати в такий спосіб. Спочатку визначають значення головних параметрів для кожної з потенційно критичних корисних копалин (candidate minerals), за якими в подальшому їх зараховуватимуть до критичних. Параметри (індикатори) критичності можуть бути різними: ризик дефіциту (supply risk) та економічне значення (economic importance), як показано на рис. 1 [13, 16], або ризик пропозиції (концентрація виробництва), зростання виробництва (зміна розмірів ринку й геологічних ресурсів) і динаміка ринку (зміна ціни) [8, 15].



Рис. 1. Методологічна схема визначення критичності [13, 16]

Іноді додатково застосовують різні підходи для об'єктивнішого порівняння мінеральної сировини з різними за обсягами ринками. У такому разі загальну економічну значущість обчислюють за відношенням валової доданої вартості до ВВП країни або регіону [13, 16].

Ступінь критичності визначають зазвичай як середнє геометричне значення цих показників (рис. 2). У разі використання двох показників їхні значення відкладають на двох осях двовимірної діаграми, а ступінь критичності збільшується від лівого нижнього до правого верхнього кута.

До критичних належать корисні копалини (сировина), що перевищують встановлені значення за обома показниками (рис. 3).

Переліки критичних корисних копалин (різновидів мінеральної сировини) є частиною політики щодо розвитку мінерально-сировинної бази країн і регіонів. У табл. 1 наведено результати порівняння таких переліків для США, ЄС, Канади й Австралії.

Важливість мінеральної сировини і шляхи її постачання можуть змінюватися із часом. Тому переліки критичної мінеральної сировини відрізняються не лише для різних регіонів і країн світу, а й змінюються в часі для одного й того самого регіону. Якщо проаналізувати дані для ЄС 2011, 2014 і 2017 років (табл. 2), то можна побачити, що перелік критичної мінеральної сировини 2017 року містить 17 з 20 різновидів, визначених у 2011 році, і всі 16 різновидів, визначених у 2014 році. Порівнюючи з переліком 2014 року, дев'ять додаткових різновидів сировини було визначено критичними.

На прикладі ЄС можна побачити, що згодом кількість різновидів критичної мінеральної сировини збільшується й до розгляду залучають корисні копалини, які раніше не розглядали.

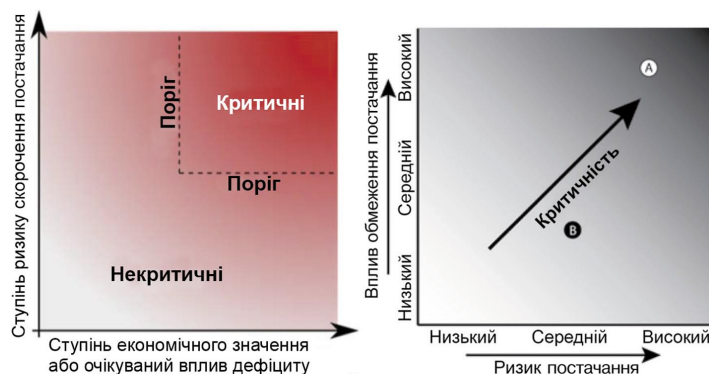


Рис. 2. Загальна схема концепції критичності у двох вимірах (а – за працею [15], б – за працями [11, 10])

Таблиця 2. Порівняння переліків критичної мінеральної сировини ЄС 2011, 2014 і 2017 року [13]

2011	2014	2017
		Барит
Берилій	Берилій	Берилій
	Борати	Борати
		Ванадій
		Вісмут
Вольфрам	Вольфрам	Вольфрам
Галій	Галій	Галій
		Гафній
		Гелій
Германій	Германій	Германій
Графіт (природний)	Графіт (природний)	Графіт (природний)
Індій	Індій	Індій
		Каучук природний
Кобальт	Кобальт	Кобальт
	Коксівне вугілля	
	Кремній металевий	Кремній металеви
	Магnezит	
Магній	Магній	Магній
Ніобій	Ніобій	Ніобій
Платиноїди	Платиноїди	Платиноїди
РЗЕ (важкі)	РЗЕ (важкі)	РЗЕ (важкі)
РЗЕ (легкі)	РЗЕ (легкі)	РЗЕ (легкі)
Скандій		Скандій
Сурма	Сурма	Сурма
Тантал		Тантал
Флюорит	Флюорит	Флюорит
		Фосфор
	Фосфорити	Фосфорити
	Хром	

Синім кольором позначено мінеральну сировину, яку не оцінювали до 2014 року, зеленим – до 2017 року

Результати деяких наукових досліджень представлені у вигляді періодичної таблиці Менделєєва з характеристиками кожного елемента щодо дефіциту, критичності тощо. Так, Європейське хімічне товариство під егідою UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки й культури) у 2019 році, який було оголошено міжнародним роком періодичної таблиці хімічних елементів (IYPT2019), представила таку таблицю під назвою “Дефіцит елементів.

90 природних елементів, з яких усе зроблено. Які їхні запаси? Чи досить цього?” (рис. 4). Розмір комірки кожного елемента відповідає його поширеності в земній корі й атмосфері. Таблиця має кольорне кодування, що засвідчує дефіцит елемента або потенційний ризик його виникнення.

Наукова геологічна організація “Geoscience Australia” при уряді Австралії опублікувала на своєму сайті Періодичну таблицю елементів (рис. 5), що показує елементи з високою критичністю й статус ресурсів Австралії для цих елементів (добуваються / мають оцінені ресурси й запаси / перебувають на стадії розвідки).

Результати огляду 32 комплексних досліджень критичності хімічних елементів було представлено у вигляді таблиці хімічних елементів, де колір комірок відображає ступінь критичності, який визначають як співвідношення кількості досліджень, що визнає цей елемент як критичний, до загальної кількості досліджень (рис. 6).

Певним аналогом “критичної мінеральної сировини” в українському законодавстві були “стратегічні корисні копалини” – термін, який дістався в спадок від СРСР, коли стратегічними вважали насамперед корисні копалини, які використовуються в оборонній (військовій) промисловості. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 15 липня 1997 р. № 742 “Про надання спеціальних дозволів на користування ділянками надр з метою геологічного вивчення та видобування стратегічно важливих корисних копалин” до останніх належать: нафта, природний газ, кам'яне вугілля коксівне, мідь, свинець, цинк, нікель, молибден, кобальт, вольфрам, цирконій, берилій, літій, тантал, ніобій, рідкісноземельні елементи церієвої та ітрієвої груп, золото, п'єзокварц, алмази. Зазначимо, що ця постанова, окрім самих корисних копалин, визначала мінімальні стратегічні запаси (ресурси), такий підхід відрізняється від світової практики.

Крім того, зауважимо, що перелік стратегічних корисних копалин, на відміну від переліків критичних корисних копалин і критичної мінеральної сировини в розвинених країнах, не надавав ніяких преференцій або стимулів компаніям, які виконували геологічне вивчення та розробку цих корисних копалин. Навпаки, згідно із цією постановою спеціальні дозволи на геологічне вивчення та видобування корисних копалин, занесених до переліку стратегічних, надавали відповідно до висно-

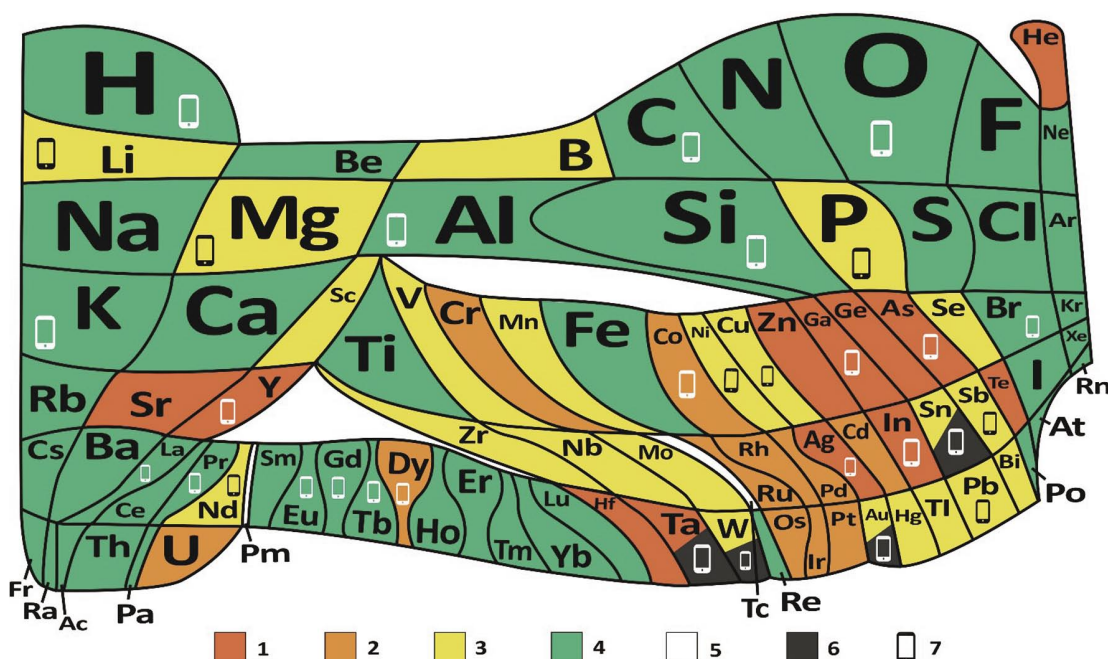


Рис. 4. Періодична таблиця Менделєєва. Дефіцит елементів [5]

Умовні позначення: 1 – суттєва загроза дефіциту в найближчі 100 років; 2 – дедалі більша загроза через збільшення використання; 3 – обмежена доступність, можливі ризики в майбутньому; 4 – величезні запаси й ресурси; 5 – штучні елементи; 6 – елементи, які добувають у зоні воєнних конфліктів; 7 – елементи, які використовують під час виробництва смартфонів

Рис. 5. Періодична таблиця елементів, що показує критичні елементи й статус ресурсів Австралії [3]

Умовні позначення: 1 – гази й штучні елементи, 2 – оцінені ресурси, 3 – видобування, 4 – розвідка, 5 – елементи з високою критичністю

Рис. 6. Ступінь критичності хімічних елементів за результатами аналізу 32 комплексних досліджень [7]

У верхньому правому куті кожної комірки наведено кількість досліджень, які оцінюють критичність кожного елемента

вку Міжвідомчої комісії з питань надрокористування, до складу якої входять, зокрема, Прем'єр-міністр України, Міністри екології, енергетики та ін., що набагато ускладнювало процедуру отримання спеціального дозволу. Інші складнощі пов'язані з обмеженням доступом до інформації про стратегічні корисні копалини.

Постанова КМУ, яка визначала перелік стратегічно важливих корисних копалин, втратила чинність 6 квітня 2016 року згідно з постановою КМУ № 277. Так, наразі в Україні немає ніяких документів, які б визначали різновиди мінеральної сировини (корисні копалини), що є надзвичайно (стратегічно, критично) важливими для економічної безпеки України. Створити перелік таких корисних копалин доцільно було б з використанням наявних провідних світових методик визначення критичності, які описано вище, адаптуючи їх за потреби до українських реалій. Очевидно, що це потребує спеціальних досліджень, зокрема й маркетингових.

Попередньо можна передбачити, що в Україні до критично важливих корисних копалин належатимуть берилій, літій, тантал, ніобій, кобальт, рідкісноземельні елементи, вольфрам, метали платинової групи. Ступінь критичності урану, графіту, титану, цирконію та інших потребують додаткового вивчення. Такі корисні копалини, як природний газ, нафта, газ, кам'яне вугілля, свинець, золото, алмази традиційно в нашій країні належали до стратегічних корисних копалин, але не є критичними в інших регіонах світу.

За прикладом розвинених країн, узаконення й застосування поняття критичних корисних копалин може бути механізмом стимулювання розвитку певних напрямів геологічного вивчення й видобування корисних копалин. Для цього потрібно затвердити перелік критичних корисних копалин (критичної мінеральної сировини) на законодавчому рівні й надати певні переваги та преференції (зокрема, податкові) компаніям, діяльність яких пов'язана з геологічним вивченням і видобуванням критичних корисних копалин в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1997 р. № 742 "Про надання спеціальних дозволів на користування ділянками надр з метою геологічного вивчення та видобування стратегічно важливих корисних копалин"//<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/742-97-%D0%BF>.
2. Canada and U.S. Finalize Joint Action Plan on Critical Minerals Collaboration//Natural Resources Canada. News release. Ottawa, Ontario. – 2020. <https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2020/01/canada-and-us-finalize-joint-action-plan-on-critical-minerals-collaboration.html>.
3. Critical Minerals//Geoscience Australia <https://www.ga.gov.au/about/projects/resources/critical-minerals>.
4. Critical Minerals//Official website of The American Geosciences Institute <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/critical-minerals>.
5. Element Scarcity – EuChemS Periodic Table//European Chemical Society <https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/>.
6. Fortier S. M., Nassar N. T., Lederer G. W., Brinard J., Gambogi J., McCullough E. A. Draft Critical Mineral List – Summary of Methodology and Background Information – U.S. Geological Survey Technical Input Document in Response to Secretarial Order No. 3359. Open-File Report 2018-1021. – U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2018. – 26 p. <https://pubs.usgs.gov/of/2018/1021/ofr20181021.pdf>.
7. Hayes S. M., McCullough E. A. Critical minerals: A review of elemental trends in comprehensive criticality studies//Resources Policy. – Vol. 59, December 2018, P. 192–199. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301420718301296?token=B4747193085A9486-C578D940EB22949AB64EF936553BE178F2BE04359BF9B24416031D9C8C80A4639D5FCD22DA340318>.
8. Humphries M. Critical Minerals and U.S. Public Policy. CRS Report. Prepared for Members and Committees of Congress. – 2019. – 56 p. https://www.everycrsreport.com/files/20190628_R45810_b3112ce909b1-30b5d525d2265a62ce8236464664.pdf.
9. Mineral Commodity Summaries 2020. – USGS (United States Geological Survey), January 31, 2020. – 204 p. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.
10. Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. Report in brief//The National Academies. – 2007. – 4 p. https://www.nap.edu/resource/12034/critical_minerals_final.pdf.
11. National Research Council, 2008. Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy: Washington, D.C., National Academies Press, 264 p.
12. Overland I. The geopolitics of renewable energy: Debunking four emerging myths/Energy Research & Social Science. – 2019. – V. 49. –

P. 36–40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618308636>.

13. Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials//European Commission, May 2014. – 41 p. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/10-010/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>.

14. Schulz K. J., DeYoung J. H., Seal R. R., Bradley D. C., eds., 2017. Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, 797 p. https://pubs.usgs.gov/pp/1802/pp1802_entirebook.pdf.

15. Sievers H., Buijs B., Espinoza T., Luis A. (2012): Limits to the critical raw materials approach. In: Proceedings of the ICE – Waste and Resource Management 165 (4), 201–208.

16. Study on the review of the list of Critical Raw Materials 2017. Criticality Assessments. Final Report. Written by Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research for European Commission. – June 2017. – 93 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1>

17. United States and Canada Finalize Action Plan on Critical Minerals Cooperation. Media Note. Office of the Spokesperson. January 9, 2020/<https://www.state.gov/united-states-and-canada-finalize-action-plan-on-critical-minerals-cooperation/>

18. What are Critical Raw Materials?//Official website of Critical Raw Materials Alliance. <http://criticalrawmaterials.org/critical-raw-materials/>

14. Schulz K. J., DeYoung J. H., Seal R. R., Bradley D. C., eds., 2017. Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, 797 p. https://pubs.usgs.gov/pp/1802/pp1802_entirebook.pdf.

15. Sievers H., Buijs B., Espinoza T., Luis A. (2012): Limits to the critical raw materials approach. In: Proceedings of the ICE – Waste and Resource Management 165 (4), 201–208.

16. Study on the review of the list of Critical Raw Materials 2017. Criticality Assessments. Final Report. Written by Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research for European Commission. – June 2017. – 93 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1>

17. United States and Canada Finalize Action Plan on Critical Minerals Cooperation. Media Note. Office of the Spokesperson. January 9, 2020/<https://www.state.gov/united-states-and-canada-finalize-action-plan-on-critical-minerals-cooperation/>

18. What are Critical Raw Materials?//Official website of Critical Raw Materials Alliance. <http://criticalrawmaterials.org/critical-raw-materials/>

Р у к о п и с о т р и м а н о 3.06.2020.

REFERENCES

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 742 of 15 July 1997 “On the issue of special permits for the use of subsoil sites for the purpose of geological exploration and mining of strategically important minerals” //<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/742-97-%D0%BF>.

2. Canada and U.S. Finalize Joint Action Plan on Critical Minerals Collaboration//Natural Resources Canada. News release. Ottawa, Ontario. – 2020. <https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/20-20/01/canada-and-us-finalize-joint-action-plan-on-critical-minerals-collaboration.html>.

3. Critical Minerals//Geoscience Australia <https://www.ga.gov.au/about/projects/resources/critical-minerals>.

4. Critical Minerals//Official website of The American Geosciences Institute <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/critical-minerals>.

5. Element Scarcity – EuChemS Periodic Table//European Chemical Society <https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/>.

6. Fortier S. M., Nassar N. T., Lederer G. W., Brainard J., Gambogi J., McCullough E. A. Draft Critical Mineral List – Summary of Methodology and Background Information – U.S. Geological Survey Technical Input Document in Response to Secretarial Order No. 3359. Open-File Report 2018-1021. – U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2018. – 26 p. <https://pubs.usgs.gov/of/2018/1021/ofr20181021.pdf>.

7. Hayes S. M., McCullough E. A. Critical minerals: A review of elemental trends in comprehensive criticality studies//Resources Policy. – Vol. 59, December 2018, P. 192–199. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301420718301296?token=B4747193085A9486C578D940EB-22949AB64EF936553BE178F2BE04359BF9B24416031D9C8C80A4639D5FCD22DA340318>.

8. Humphries M. Critical Minerals and U.S. Public Policy. CRS Report. Prepared for Members and Committees of Congress. – 2019. – 56 p. https://www.everycrsreport.com/files/20190628_R45810_b3112ce909b130b5d525d2265a62ce8236464664.pdf.

9. Mineral Commodity Summaries 2020. – USGS (United States Geological Survey), January 31, 2020. – 204 p. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.

10. Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. Report in brief//The National Academies. – 2007. – 4 p. https://www.nap.edu/resource/12034/critical_minerals_final.pdf.

11. National Research Council, 2008. Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy: Washington, D.C., National Academies Press, 264 p.

12. Overland I. The geopolitics of renewable energy: Debunking four emerging myths//Energy Research & Social Science. – 2019. – V. 49. – P. 36–40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618308636>.

13. Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials//European Commission, May 2014. – 41 p. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/10-010/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>.



КАТАЛОГ ВИДАНЬ УКРАЇНИ

ПРЕСА ПОШТОЮ

Шановні читачі!

Державне підприємство з розповсюдження періодичних видань «Преса» повідомляє, що триває передплата на періодичні видання України на 2020 рік.

Передплату можна оформити за «Каталогом видань України

«Преса поштою»:

• на сайті ДП «Преса»

www.presa.ua;

• на сайті ПАТ «Укрпошта»

www.ukrposhta.ua;

• у відділеннях

поштового зв'язку;

• в операційних залах поштамтів;

• у пунктах приймання передплати.



2020 РІК

УДК 622.22.553.4:519.85

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.19-24>

В. Г. ГРІНЬОВ, д-р техн. наук, професор, завідувач лабораторії проблем розробки родовищ корисних копалин Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України, <https://orcid.org/0000-0003-2942-6518>,

А. О. ХОРОЛЬСЬКИЙ, канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу управління станом гірничого масиву Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України, <https://orcid.org/0000-0002-4703-7228>

V. HRINOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory of problems of working mine (Institute of Physics of the Mining Processes of National Academy of Sciences of Ukraine), <https://orcid.org/0000-0003-2942-6518>,

A. KHOROLSKYI, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Department of management of mountain range the state (Institute of Physics of the Mining Processes of National Academy of Sciences of Ukraine), <https://orcid.org/0000-0002-4703-7228>

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ РОДОВИЩАМИ ЦІННИХ КОПАЛИН

STUDIES OF THE BASICS OF TECHNOLOGY FOR OPTIMAL DESIGN OF RATIONAL USE OF VALUABLE MINERAL DEPOSITS

Розглянуто питання створення сучасного математичного забезпечення, а також засобів ухвалення рішень для техніко-економічних обґрунтувань параметрів проектування розробки українських родовищ з цінними корисними копалинами й визначення оптимальної стратегії їхнього освоєння. Алгоритмічний опис процесу керування станом запасів родовищ і форма подання результатів дають змогу запровадити описані методи у виробництво, водночас родовище розглянуто не як окремий об'єкт, а як проміжну ланку в процесі отримання кінцевої продукції.

Сфера застосування технології оптимального проектування для раціонального використання родовищ не залежить від різновиду корисної копалини, оскільки оптимальний сценарій виробництва кінцевої продукції для конкретного родовища визначають за допомогою моделі зміни стану запасів копалини від балансових до кінцевого продукту, яку після перетворення ациклічних графів у мережу можна оптимізувати через класичні алгоритми.

Ключові слова: сценарій освоєння, цінні родовища, екологія, раціональне природокористування, оптимальне проектування, динамічне програмування, комп'ютерні програми.

The aim of this paper is to develop and validate methods of choosing the means of valuable mineral deposits. This paper describes a methodology for assessing deposits from both an economic and an environmental point of view. The questions of creation of modern mathematical support, as well as the means of decision making for the feasibility study of Ukrainian deposits with valuable minerals and determination of the optimal strategy for their development are considered. A new way of developing environmental scenarios for territorial development is proposed, which is to optimize network models that are consistent with environmental strategies for mineral exploration with a view to producing the final products. Unlike economic scenarios, the development of the field of environmental requirements takes into account the rating of man-made environmental hazards at each stage, which allows not only the benefit but also the risks of production. An algorithmic description of the process of managing the state of reserves and the form of presentation of the results make it possible to introduce the described methods into production, at the same time the field is considered not as a separate object, but as an intermediate element in the process of obtaining final products. In addition, the sequence of finding the optimal solution can be considered as from the beginning of development of the field to the stage of obtaining the final products, and in the opposite direction.

The field of optimal design technology for the rational development of fields is independent of the type of minerals, since the determination of the optimal scenario of production of final products for a particular field is due to the model of changing the state of mineral reserves from balance sheet to final products, which after the transformation of acyclic graphs in the network can be optimized using classic algorithms.

Keywords: development scenario, valuable mineral deposits, ecology, rational use of natural resources, optimal strategy, dynamic programming, software.

Вступ. Україна належить до країн з багатим природно-ресурсним потенціалом, який наразі не використовує вповні. Це зумовлено багатьма чинниками. Окрім того, що немає вдосталь коштів на розвідку, розробку та експлуатацію родовищ, бракує ефективної технології оптимального проектування раціонального природокористування.

Під природокористуванням розуміємо сферу виробничої й наукової діяльності, всю сукупність засобів яких застосовують для комплексного вивчення, освоєння, використання, відновлення, поліпшення й охорони природного середовища та природних ресурсів задля розвитку продуктивних сил, забезпечення сприятливих умов життєдіяльності людини [14]. Водночас термін "природокористування" нерозривно пов'язаний не тільки з ефективним вилученням корисної копалини, а також із мінімізацією негативного впливу виробництва на довкілля.

Потребу раціонального використання українських надр важко переоцінити, але з часів незалежності жодне з родовищ рідкісних і благородних металів не освоєне належним чином.

Таку ситуацію можна пояснити браком уваги відповідних державних структур до проблеми ефективного вилучення корисних копалин з надр, що супроводжується шкідливим виробництвом, розміщеним фактично в центрі Європи. Відомчі норми, які регламентують технологічне проектування, затверджені для багатьох різновидів галузевої діяльності в Україні, але досі не підготовлено відповідних нормативів з розроблення кольорових металів.

Запаси корисних копалин і техніко-економічна оцінка їхнього розроблення, що затвердила ДКЗ України (Державна комісія України по запасах корисних копалин) [13], є підставою для складання проєктів добування корисних копалин. Технічно питання освоєння родовищ вирішуються в такий спосіб. Після проведення державної експертизи геологічних

матеріалів і встановлення кондицій на мінеральну сировину оцінюють запаси й ресурси на конкретному родовищі [8, 9].

ОПР (особа, що приймає рішення – власник ліцензії, інвестор) розглядає кілька варіантів отримання кінцевої продукції. Згідно із чинними нормативами [10, 12] під час визначення варіанта освоєння оцінюваного геологічного об'єкта перевагу дістає той, що забезпечує максимальні величини інтегрального економічного ефекту [4].

Обґрунтування способу й системи розроблення родовища, виробничої потужності й терміну дії підприємства, типів гірничого обладнання, засобів механізації, інших проектних рішень і параметрів рекомендовано проводити методами, які застосовують під час проектування гірничодобувних підприємств, з використанням чинних галузевих норм технологічного проектування, державних будівельних норм, проектів робочих підприємств-аналогів, даних науково-технічних досліджень.

Проти таких рекомендацій важко заперечувати, однак аналогічних підприємств з розроблення, наприклад, золоторудних родовищ немає ні в Україні, ні в Європі (за винятком скандинавських країн, які, порівнюючи зі світовим, мають низький рівень річного видобутку, що становить менш як 10 тонн).

Отже, дослідження основ технології оптимального проектування процесу освоєння родовищ корисних копалин із оцінкою та вибором параметрів експлуатації запасів і виробництва кінцевої продукції є актуальним науковим завданням. Розроблення засобів ухвалення рішень щодо раціонального використання родовищ цінних копалин формують наукову й практичну цінність роботи.

Основні дослідження та публікації. Цінний досвід і прогресивні технології вилучення з надр благородних металів відомі на американському, азіатському й африканському континентах [2, 4, 18]. Згідно з даними GFMS Gold Survey, до першої п'ятірки рейтингу понад 50 успішних світових виробників рудного золота ввійшли Китай, Австралія, Росія, США й Канада з річними обсягами від 200 до 400 тонн металу [11].

Історія спроб освоєння золоторудних родовищ в Україні розпочалася в часи незалежності. Ключові її моменти загальновідомі, а історія українського золота як “Клондайк для аферистів” доступна широкому колу користувачів мережі Internet [16]. До переліку цих моментів входять: розвідка понад десяти родовищ з промисловими запасами, програма “Золото України”, створення компанії “Укрзолото”, виготовлення золотого тризубу, ліквідація “Укрзолота” через неефективність роботи, створення ПАТ “Українські поліметали” на чолі з російською командою, неефективне розроблення Клишівського й Мужіївського родовищ з елементами декларативності і як наслідок – ліквідація ПАТ “Укра-

їнські поліметали”. Спроба інтенсифікації видобутку золота через залучення іноземних компаній у статусі повноправних надрокористувачів також не увінчалась успіхом.

Нині в Україні є кілька власників ліцензій (див. таблицю), а проте золота майже не добувають.

Багаторічний досвід наукових академічних досліджень одного з авторів цієї статті [3, 4] з оцінки й вибору параметрів підземного розроблення родовищ з рудами рідкісних і благородних металів у країні, яка входить до трійки світових лідерів з видобутку золота, дає змогу проводити дослідження в галузі створення технології оптимального проектування природокористування для раціонального освоєння вітчизняних родовищ корисних копалин.

Попри певні успіхи в цьому напрямі більшість малих золоторудних родовищ розробляють без залучення капітальних вкладень й розроблення генеральних проектів, а відтак освоюють тільки окремо взяті частини родовищ. Це часто призводить до вибіркового відпрацьовування багатих ділянок і як наслідок – до необґрунтованого списання решти запасів.

У країнах з розвиненим гірництвом відносини між ученими й галузевими проектувальниками в питаннях експлуатації родовищ визначаються технологічними регламентами, які розробляють, узгоджують і затверджують відповідні спеціалізовані державні структури. Проте в Україні рівень природокористування досі не відповідає світовому й за наявності такої різноманітної та перспективної мінеральної бази держава не отримує належних прибутків.

Під час розроблення родовищ рідкісних і благородних металів дуже важливим є питання технології видобутку руди. До умов, які мають вирішальне значення для вибору системи розроблення, належать потужність і кут падіння рудного тіла, уміст корисної копалини, стійкість порід, міцність і глибина залягання. Перші три параметри в умовах невеликих за запасами родовищ різко змінюються в межах очисного блоку. Проектуючи гірничі роботи, рекомендовано орієнтуватися на надійні прості технологічні схеми, здатні високопродуктивно працювати в різноманітних умовах. Найефективніше під час розроблення жил зі складною морфологією застосовувати самохідне устаткування. Це дає можливість швидко пристосовувати технологію до змінюваних умов залягання, а також ефективно відпрацьовувати окремі ділянки з промисловим умістом.

У зв'язку з вищевикладеним дотримання раціонального надрокористування можливе тільки в разі опрацювання технологічних регламентів на проектування гірничодобувних підприємств спільними зусиллями геологів і гірників.

Таблиця. Відомості про підприємства з видобутку рудного золота

Назва об'єкта ліцензування	Власник спецдозволу/ Місцезнаходження	Дата видачі/ Дата закінч./ Ознака дії	Корисна копалина: О – основна, С – супутня	Експлуатація родовища	Доступна інформація про діяльність
Родовище Сергіївське	ТОВ “Камнеобробна компанія України”, м. Дніпро	14-10-2010 14-10-2030 Дійсний	О – Руди золота	Не здійснюється	Сайт не функціонує. Інформації про діяльність немає
Родовище Сауляк. Ділянка – Рудне тіло 1, ділянка – Рудне тіло 2	ТОВ “САУЛЯК”, Закарпатська обл., м. Рахів	22-12-2010 22-12-2030 Дійсний	О – Руди золота	Не здійснюється	Сайт не функціонує. Інформації про діяльність немає
Родовище – Мужіївське	ПРАТ “Карпатська рудна компанія” Закарпатська обл., м. Берегове	19-03-2012 19-03-2032 Дійсний	О – Руди золота, С – Води дренажні	Розроблення та утилізація відвалів	Сайт функціонує. Інформації про діяльність немає

Також під час підготування початкових даних для проектування підприємства потрібно зважати на низку особливостей експлуатації родовищ, не пов'язаних безпосередньо з гірничими процесами [3], а також визначення раціонального обсягу виробництва кінцевої продукції, за якого підприємство може отримувати максимальний прибуток [6]. І, нарешті, обов'язковою умовою проектування є оцінка екологічного аспекту виробництва [7].

Формулювання мети. Метою праці є розроблення підходів щодо раціоналізації параметрів природокористування під час розроблення цінних родовищ корисних копалин України в галузі мінімізації собівартості видобутку й негативного впливу на довкілля. Ідея полягає в створенні моделі родовища та етапів його освоєння у вигляді декомпозиційної системи з формалізацією завдань на кожному з етапів і застосуванням алгоритмів динамічного програмування.

Викладення основного змісту. Незалежно від типу корисної копалини алгоритм оптимального проектування процесу освоєння має відповідати на такі запитання.

– Що є критерієм кінцевої ефективності виробництва? Спочатку може видатися, що критерієм ефективності може слугувати економічна категорія “собівартість”, проте її не можна об'єктивно застосувати під час аналізу групи взаємопов'язаних підприємств, які виробляють продукцію. В умовах ринкової економіки неможливо не зважати на інтереси всіх гравців на ринку генерації енергії, металу або корисних копалин — кожне підприємство не є самостійним апіорі, а в процесі своєї господарської діяльності має розглядатись як проміжна ланка на стадії отримання продукції.

– Для якої галузі отримане рішення буде оптимальним? Потрібно знайти галузь у вигляді сукупності природних, технологічних, організаційних параметрів, що дасть змогу відтворити потрібний обсяг виробництва із заданим рівнем ефективності.

– Скільки треба виробити продукції? Відповідь на це запитання створює резерв для збільшення обсягів виробництва або, навпаки, оперативного керування на стадії згортання виробничих потужностей.

– Яким чином мінімізувати ризики виробництва? Для цього потрібно проаналізувати можливі варіанти розвитку виробництва, усі сприятливі й несприятливі сценарії, тобто здійснити перехід від невизначеності станів природи до встановлення об'єктивної вірогідності ризиків.

Лише після з'ясування відповідей на всі вищеперераховані запитання в наведений послідовності можна перейти до питання раціоналізації параметрів експлуатації. Водночас треба зважати на екологічний аспект.

Відповідям на ці запитання присвячено це дослідження. До того ж характерною особливістю наведеного підходу є те, що запропоновано універсальний інструмент, який дає змогу здійснювати насамперед не кількісну, а якісну оцінку.

Потенціал розвитку досліджень у напрямі оптимізації мережевих моделей достатній для здійснення економічної оцінки екологічного аспекту освоєння родовищ корисних копалин [6, 7]. Процедура такої оцінки полягає у фінансовому порівнянні двох сценаріїв освоєння — оптимального з економічного погляду та екологічно ощадного. Реалізувати цю процедуру можна буде на базі моделювання процесів освоєння родовища, з одного боку, за економічними показниками собівартості й прибутку, а з іншого — з огляду на екологічні переваги на всіх етапах.

Відповідно до вищесформованих завдань дослідження запропоновано новий підхід щодо підвищення ефективності процесу розроблення родовищ корисних копалин. На першому етапі слід зосередити увагу на критерії оптимальності в категорії “якість”. Це філософська категорія, що виражає сукупність істотних ознак, особливостей і властивостей, які відрізняють один предмет або явище від інших і надають йому визначеності. Якість предмета або явища зазвичай не обмежується його окремими властивостями. Вона пов'язана з предметом загалом, охоплює його повністю й невіддільна від нього. Тому поняття якості пов'язується з буттям предмета. Предмет не може, залишаючись самим собою, втратити свою якість [17]. У такий спосіб ця категорія є універсальною незалежно від типу корисної копалини. Для вугілля категорією “якість” виступає зольність, а для руди — ступінь зuboжіння. Також в умовах екологічно забруднювального виробництва для особливо цінних корисних копалин (наприклад, золота) до категорії “якість” можна зарахувати ступінь негативного впливу на довкілля, який визначено на основі експертної оцінки екологів [1, 2, 19, 20]. Із категорії “якість” випливає, що сукупність ознак визначає сам процес, це і є зміна стану запасів, тобто вугілля проходить етап від добутої корисної копалини до електроенергії або металу. Аналогічна ситуація і з рудою або цінною корисною копалиною.

Енциклопедичне завдання гірничої технології полягає в сукупності прийомів і способів зміни природного стану надр Землі, а її розвиток пов'язаний з потребою дедалі досконаліших технічних прийомів [1]. Оскільки технологічна схема гірничодобувного виробництва реалізується у вигляді ланцюжка послідовно виконуваних процесів, то технологія проектування — це сукупність методів і засобів проектування.

Формат технології оптимального проектування процесу освоєння пропонується як сукупність інструментів, підходів, засобів ухвалення рішень, які дають змогу отримати адекватне, а головне достовірне рішення в межах визначеної галузі раціонального проектування. Тобто під час розгляду процесу освоєння родовища загалом через зміну стану запасів у вигляді ланцюжка можна скористатися методами динамічного програмування [6], адже для ефективного переходу до наступного етапу кожне попереднє рішення буде найкращим проти можливих. Це потребує більших зусиль, обчислювальних ресурсів, проте на виході кожне рішення задовольнятиме головному принципу динамічного програмування Р. Беллмана із додатковими вимогами [19].

Незалежно від типу інструменту (мережева модель й алгоритми мережевої оптимізації, динамічне програмування) є спільний принцип — визначені параметри можна представити у вигляді єдиної структури, а не окремо кожен. У такий спосіб відбувається оптимізація процесу отримання кінцевої продукції. Водночас ефективність усього процесу залежить від сукупної ефективності заданої кількості параметрів на всіх попередніх етапах, яка також залежить від одного (двох, трьох) параметрів. Запропонований декомпозиційний підхід дає змогу визначати пріоритетні (керівні) чинники для кожної стадії виробництва.

На рис. 1 зображено альтернативний граф освоєння реального родовища.

Зауважимо, що вершини з'єднані між собою відповідно до реальних зв'язків. Після цього аналізуємо мережеву модель на кожному етапі. Для знаходження найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла 37 використовується метод динамічного програмування.

Процес ухвалення рішень може бути розглянуто за допомогою функціонального рівняння

$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = f(x(t), u(t), t); x(\tau) = y; \tau \leq t \leq t_1, \quad (1)$$

де τ – довільний параметр;

y – довільний вектор.

Інваріантний спосіб з прямим зануренням дає змогу розглянути виробничий процес у часі t з обмеженим обсягом ресурсів. Водночас розглядаються всі можливі рішення й кожне наступне рішення (альтернатива) не гірше за попереднє (рис. 2).

В альтернативному графі з 37 вузлами визначення стратегії освоєння золоторудного родовища кожна дуга (i, j) має свою довжину t_{ij} . У спрямованому ациклічному графові можна позначити вузли цілими числами від 1 до N у такий спосіб, що для кожної дуги (i, j) справедлива нерівність $i < j$. Найкоротший шлях від вузла 1 до вузла j має містити деяку дугу як кінцеву й тому

$$f_j = \min_{i(i,j)} (f_i + t_{ij}). \quad (2)$$

Для знаходження найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла 37 використано метод динамічного програмування із застосуванням алгоритму Белмана-Форда [19]. Безліч рішень оптимізаційних завдань описується функціональним рівнянням, аналогічним рівнянню (2). Функціональне рівняння є системою рівнянь, які пов'язують кілька оптимізаційних завдань. У такій системі кожне рівняння відповідає одному вузлу. Рішення безлічі оптимізаційних завдань можна знайти за допомогою так званого алгоритму зворотного прогону, рівнозначного впорядкованій процедурі рішення послідовності функціональних рівнянь.

Алгоритм зворотного прогону наведено в праці [4]. Він придатний для обчислень в ациклічних мережах. Крім того, розрахунки можна починати в будь-якому кінці мережі й рухатися у зворотному напрямі. Водночас передбачається проведення однієї обчислювальної операції для кожної дуги. Тож навряд чи є ефективніший алгоритм, ніж зворотний прогін. На рис. 1 показано результати розрахунків мережевої моделі освоєння родовища у вигляді найкоротшого маршруту (червона суцільна лінія): 1–2–5–15–18–20–24–28–33–37.

Отже, для пошуку оптимальної стратегії освоєння родовища всі можливі варіанти потрібно представити у вигляді впорядкованої структури – графа. Після задаємо значення оптимізаційного параметра (витрати на проведення кожного етапу розробки родовища) у вигляді відстані між вершинами графа. Сукупність вершин, що відповідають етапам, і відстаней між ними й становлять значення оптимізаційного параметра та формують мережеву модель. Залежно від порядку розгляду моделі можна аналізувати як екологічні, так і економічні варіанти освоєння родовища.

В Інституті фізики гірничих процесів НАН України для вирішення гірничих технологічних завдань методами дискретної математики також розроблено програмне забезпечення із сучасним інтерфейсом щодо втілення алгоритмів динамічного програмування на мережових моделях (“Програма динамічного програмування альтернативного графа на мінімум” “DinMin.v2_2019”) [15].

Окрім цього, потрібно визначити й порівняти суми, які кожна додаткова одиниця продукції додаватиме, з одного боку, до валового доходу, з іншого – до валових витрат. Результати варіантних розрахунків на моделі освоєння родовища дають змогу виконати статистичний аналіз середніх постійних витрат, середніх змінних витрат і середніх загальних витрат з побудовою кривих граничних витрат і граничного доходу для визначення рівня виробництва. Координати точки рівності цих показників укажуть на раціональний рівень виробництва, який максимізує прибуток. Це буде ключовим показником для базового варіанта проектування експлуатації родовища із оптимальними параметрами гірничо-збагачувального підприємства для раціонального освоєння цінних корисних копалин [6, 20].

Отже, в основі технології оптимального проектування природокористування лежить обов'язкове вирішення таких завдань:

1) Застосування категорії “якість” як критерію оптимальності, що дає змогу врахувати зміну стану запасів корисної копалини.

2) Представлення всього процесу отримання кінцевої продукції у вигляді єдиної структури – мережевої моделі. Застосування декомпозиційного підходу дає змогу перейти від багатоманіття параметрів, різних за своєю природою, до пріоритетних керівних чинників.

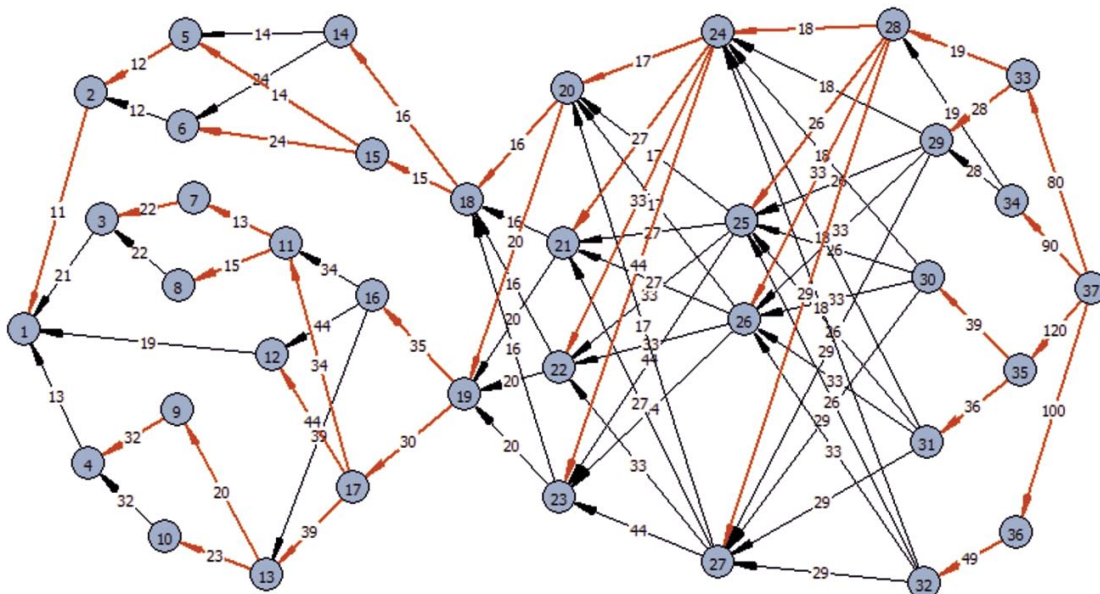


Рис. 1. Альтернативний граф з 37 вузлами визначення стратегії освоєння золоторудного родовища на фрагменті програми динамічного програмування [6]

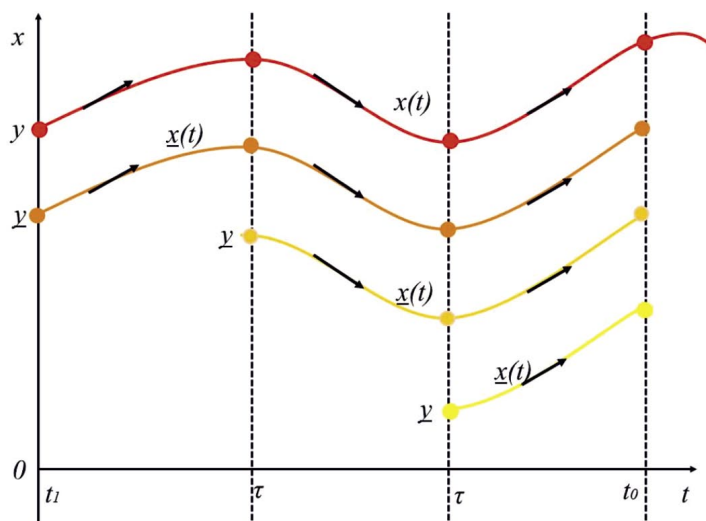


Рис. 2. Схема процедури пошуку оптимального рішення

3) Застосування адекватних інструментів ухвалення рішень для вирішення конкретних завдань.

4) Рішення ухвалюються для сукупності гірничо-геологічних, технологічних, організаційних чинників, що визначає галузь раціонального проектування.

5) Вирішення питання про встановлення раціонального об'єму виробництва.

6) Порівняння екологічного й економічного сценаріїв освоєння родовищ. Це реалізується зіставленням економічно обґрунтованого сценарію отримання кінцевої продукції з екологічними оцінками (визначеними на основі даних екологів), які характеризують ступінь техногенного навантаження на довкілля. У такий спосіб можна передбачити додаткові етапи для збагачення корисної копалини або організацію заходів із рекультивативної площі тощо.

Перш ніж братися за розроблення технічних рішень, проектування й упровадження тієї або іншої технології видобутку й перероблення корисної копалини, потрібно зіставляти й аналізувати можливості розробника й показники родовища. З одного боку, є суб'єкт в ролі власника ліцензії з правом на користування надрами з його фінансовими можливостями, трудовими й матеріальними ресурсами. З іншого боку, аналізується об'єкт розробки – вилучена цінність родовища з надр, міра освоєння території, можливість збагачення й збуту продукції. На цьому матеріалі, використовуючи відомі критерії ефективності й методи оптимізації, можна обґрунтувати простір проектування – сферу, визначену всіма проектними параметрами, які можуть забезпечити раціональну експлуатацію родовища.

Висновки. У праці запропоновано новий підхід щодо інноваційної технології оптимального проектування параметрів усіх ланок процесу експлуатації запасів родовищ корисних копалин. Утілення підходу відбувається через створення технології раціонального користування родовищами цінних копалин, що дає змогу оцінити ефективність застосування різних варіантів видобутку корисних копалин з позиції економічних та екологічних переваг, а також визначити раціональний обсяг виробництва.

Наведені в цій праці методики й результати досліджень з оптимального проектування параметрів експлуатації родовищ цінних копалин України є основою методології вирішення складних завдань. За допомогою цього інструмента-

рію можна готувати обґрунтування для надкористувача, що ухвалюватиме аргументовані рішення з основних питань технічного завдання на проектування експлуатації конкретного родовища, розміщеного на освоєній території України.

Кінцевим результатом створеної технології є можливість розроблення технічного завдання щодо освоєння конкретного родовища корисних копалин з огляду на етапи експлуатації цінних копалин, ризики виробництва, заходи з мінімізації техногенного навантаження на довкілля, а також граничний обсяг виробництва.

Отже, на основі достовірної геолого-гірничої інформації про стан родовища й сучасних технологій, а також за наявності класичних обчислювальних методів можна втілити нові підходи до геолого-економічної оцінки родовищ корисних копалин та їхньої раціональної експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горная энциклопедия/Гл. ред. Е. А. Козловский. – М.: Сов. энциклопедия в 5 т. – 1991.
2. Гринев В. Г. Оценка и выбор рациональных параметров подземной разработки рудных месторождений Якутии//Автореф. ... докт. техн. наук. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 1993. – 43 с.
3. Гринев В. Г. Решение проблем разработки рудных месторождений Севера. – Новосибирск: ВО “Наука”, 1992. – 205 с.
4. Гринев В. Г., Изаксон В. Ю., Зубков В. П. Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 215 с.
5. Гринев В. Г., Петров А. Н., Зубков В. П. Определение области проектирования эффективной разработки рудных месторождений Якутии// Горное дело в Арктике. – Санкт-Петербург, 1994. – С. 56–60.
6. Гринев В. Г., Хорольський А. О. Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України//Фізико-технічні проблеми горного виробництва. – 2019. – № 21. – С. 128–145. <https://doi.org/10.37101/ftpgpr21.01.008>
7. Гринев В. Г., Хорольський А. О., Калиуценко О. П. Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння цінних родовищ корисних копалин//Мінеральні ресурси України. – 2019. – № 2. – С. 46–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>
8. Кодекс України про надра//Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 36.
9. Методика визначення вартості запасів і ресурсів корисних копалин родовища або ділянки надр, що надаються у користування//Кабінет Міністрів України. – 2004.
10. Методика визначення початкової ціни продажу на аукціоні спеціального дозволу на право користування надрами//Кабінет Міністрів України. – 2004.
11. Мировая экономика: 10 главных золотодобывающих стран мира//Електронний ресурс: <https://ktovkurse.com/mirovaya-ekonomika/10-glavnyh-zolotodobyvayushhih-stran-mira> – Загол. з екрана.
12. Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах//Наказ ДКУ по запасах корисних копалин. – 2005.
13. Рудько Г. І., Григіль В. Г., Ловинюков В. І. Правовий стан і напрями вдосконалення державної експертизи й оцінки запасів корисних копалин//Мінеральні ресурси України. – 2016. – № 1. – С. 3–7.
14. Словарь иностранных слов. – М., 1988. – 608 с.
15. Хорольський А. О., Гринев В. Г. Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин//Фізико-технічні проблеми горного виробництва. – 2020. – № 22. – С. 118–140.
16. Черная Н. Украинское золото: Клондайк для аферистов/[Електронний ресурс]//Режим доступу: <https://economics.unian.net/industry/1167150-ukrainskoe-zoloto-klondayk-dlya-afelistov.html>
17. Cargile J. Qualities. in Honderich, T. (Ed.) (2005). The Oxford Companion to Philosophy (2nd ed.). Oxford – 1995. – 640 p.
18. Hrinov V. Gold-ore deposits underground mining design taking into account cryolith zone//Mining in the Arctic proceedings of the 2nd International symposium. – AA Balkema/Rotterdam/Brook-field. – 1992. – 315 p.

19. Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. Knapsack Problems. – Springer Science+Business Media, 2004. – 548 p.

20. Khorolskyi A., Hrinov V., Kaliushenko O. Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. – 2019. – Vol. 6. – №. 3. – P. 463–471.

REFERENCES

1. Mining Encyclopedia/Ch. ed. E. A. Kozlovsky. Moskva: Sov. encyclopedia in 5 volumes. – 1991. (In Russian).

2. Grinev V. G. Evaluation and selection of rational parameters of underground mining of ore deposits of Yakutia. Dr. tech. Science. – Novosibirsk: IGD SO RAN, 1993. – 43 p. (In Russian).

3. Grinev V. G. Solution of the problems of the development of ore deposits of the North. – Novosibirsk: Nauka, 1992. – 205 p. (In Russian).

4. Grinev V. G., Izakson V. Yu., Zubkov V. P. The solution of mountain problems on a computer during the development of ore deposits. – Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing Company of the Russian Academy of Sciences, 1999. – 215 p. (In Russian).

5. Grinev V. G., Petrov A. N., Zubkov V. P. Determination of the field of designing the effective development of ore deposits in Yakutia//Gornoe delo v Arktike. – St. Petersburg, 1994. – P. 56–60. (In Russian).

6. Hrinov V. H., Khorolskyi A. O. Optimal design of parameters of mining and processing enterprises for the rational development of valuable deposits of Ukraine//Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva. – 2019. – № 21. – P. 128–145. <https://doi.org/10.37101/ftpgp-21.01.008>. (In Ukrainian).

7. Hrinov V. H., Khorolskyi A. O., Kaliushchenko O. P. Development of ecological scenarios of effective development of valuable mineral deposits//Mineralni resursy Ukrainy. – 2019. – № 2. – P. 46–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>. (In Ukrainian).

8. Code of Ukraine on subsoil//Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 1994. – № 36. (In Ukrainian).

9. Methodology for determining the starting price of an auction for a special permit for the right to use the subsoil//Kabinet Ministriv Ukrainy. – 2004. (In Ukrainian).

10. The methodology for determining the value of reserves and resources of the mineral or subsoil provided for use//Kabinet Ministriv Ukrainy. – 2004. (In Ukrainian).

11. World economy: 10 major gold mining countries of the world//Electronic resource: <https://ktovkurse.com/mirovaya-ekonomika/10-glavyh-zolotodobyvayushhih-stran-mira>. – The headline from the screen. (In Russian).

12. Regulations on the procedure for development and justification of mineral raw material conditions for the calculation of mineral resources in the bowels//Nakaz DKZ Ukrainy. – 2005. (In Ukrainian).

13. Rudko G. I., Grygil V. G., Lovyniukov V. I. Legal status and directions of improvement of state expertise and evaluation of mineral resources//Mineralni resursy Ukrainy. – 2016. – № 1. – P. 3–7. (In Ukrainian).

14. Dictionary of foreign words. – Moskva, 1988. – 608 p. (In Russian).

15. Khorolskyi A. A., Hrinov V. G. Estimation and choice of parameters in the development of mineral deposits//Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva. – 2020. – № 22. – P. 118–140. (In Ukrainian).

16. Chernaja N. Ukrainian gold: Klondike for swindlers/[Electronic resource]//Access mode: <https://economics.unian.net/industry/1167150-ukrainskoe-zoloto-klondayk-dlya-aféristov.html>. (In Russian).

17. Cargile J. Qualities. in Honderich, T. (Ed.) (2005). *The Oxford Companion to Philosophy* (2nd ed.). Oxford – 1995. – 640 p.

18. Hrinov V. Gold-ore deposits underground mining design taking into account cryolith zone//Mining in the Arctic proceedings of the 2-nd International symposium. – AA Balkema/Rotterdam/Brookfield. – 1992. – 315 p.

19. Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. Knapsack Problems. – Springer Science+Business Media, 2004. – 548 p.

20. Khorolskyi A., Hrinov V., Kaliushenko O. Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. – 2019. – Vol. 6. – №. 3. – P. 463–471.

Рукопис отримано 28.04.2020.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

З метою подальшого підвищення наукового рейтингу журналу та його дописувачів варто звернути увагу на наступне:

1. Кожна публікація не англійською мовою супроводжується анотацією англійською мовою обсягом не менш як 1800 знаків (з ключовими словами). Якщо видання не є повністю українськомовним, кожна публікація не українською мовою супроводжується анотацією українською мовою обсягом не менш як 1800 знаків (з ключовими словами, урахувавши пропуски).

2. Вимоги до анотацій англійською мовою: інформативність (без загальних слів); змістовність (відображення основного змісту статті та результатів досліджень); застосування термінології, характерної для іноземних спеціальних текстів; єдність термінології в межах анотації; без повторення відомостей, що містяться в заголовку статті.

3. Прізвища авторів статей надаються в одній з прийнятих міжнародних систем транслітерації (з української — відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 55 від 27.01.2010 “Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею”; з російської — відповідно до “Системы транслитерации Библиотеки конгресса США”). Зазначення прізвища в різних системах транслітерації призводить до створення в базі даних різних профілів (ідентифікаторів) одного автора.

4. Для повного й коректного створення профілю автора дуже важливо наводити місце його роботи. Дані про публікації автора використовуються для отримання повної інформації щодо наукової діяльності організації і загалом країни. Застосування в статті офіційної, без скорочень, назви організації англійською мовою запобігатиме втраті статей у системі аналізу організацій та авторів. Бажаючи вказувати в назві організації її відомство за належністю.

5. В аналітичній системі SCOPUS потрібні пристатейні списки використаної літератури латиницею. Можливості SCOPUS дають змогу проводити такі дослідження: за посиланнями оцінювати значення визнання робіт конкретних авторів, науковий рівень журналів, організацій і країн загалом, визначати актуальність наукових напрямів і проблем. Стаття з представленим списком літератури демонструє професійний кругозір та якісний рівень досліджень її авторів.

6. Правильний опис джерел, на які посилаються автори, є запорукою того, що цитовану публікацію буде враховано в процесі оцінювання наукової діяльності її авторів, а отже й організації, регіону, країни. За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність тощо. Тому найважливішими складниками в бібліографічних посиланнях є прізвища авторів і назви журналів. В опис статті треба вносити всіх авторів, не скорочуючи їхньої кількості. Для уникнення неточностей в ідентифікації авторства й визначення персональних метрик (показників) бібліометрії авторам наукових публікацій потрібно використовувати персональні коди ORCID.

7. Для українсько- та російськомовних статей з журналів, збірників, матеріалів конференцій структура бібліографічного опису така: автори (транслітерація), переклад назви статті англійською мовою, назва джерела (транслітерація), вихідні дані, у дужках — мова оригіналу, ідентифікатор DOI.

8. Список використаної літератури (References) для SCOPUS та інших закордонних баз даних наводиться повністю окремим блоком, повторюючи список літератури до українсько- та російськомовної частини незалежно від того, містяться в ньому чи ні іноземні джерела. Якщо в списку є покликання на іноземні публікації, їх повністю повторюють у списку, який створюють у латинському алфавіті.

Рукопис статті до редакції автори подають зі своїми підписами.

УДК 550.36, 528.8.04

<https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.25-31>

А. А. ЛОКТЕВ, канд. геол. наук, т. в. о. директора (Український державний геологорозвідувальний інститут), ukrdgri@ukrdgri.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3640-8473>

A. LOKTIEV, Candidate of Geologic Sciences, Acting Director (Ukrainian State Geological Research Institute), ukrdgri@ukrdgri.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3640-8473>

ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ЗАКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ

HEAT REGIME OF TRANSCARPATHIAN DEPRESSION

Побудовано математичну модель температурного поля й розраховано значення температури для гіпсометричних рівнів 1000, 2000 та 3000 м. На основі термокаротажних діаграм промислово-геофізичних досліджень опорних, параметричних, пошукових і розвідувальних геотермальних свердловин за допомогою спеціального програмного пакета Surfer (Golden Software) створено карти розподілу температур для зазначених гіпсометричних рівнів, а також карту ізотермічної поверхні +50 °C. Підтверджено, що закономірності розподілу природного теплового поля у верхній частині земної кори зумовлені низкою причин, головними з яких є літологічний склад порід, особливості тектонічної будови й характер руху підземних вод. Унаслідок аналізу графічних побудов засвідчено різке зменшення прогрітості надр у сторону Карпатської складчастої споруди. Науково доведено, що прогрітість надр у межах Мукачівської западини набагато вища, ніж у межах Солотвинської. Математично й експериментально підтверджено приуроченість геотермічних аномалій до зон інтенсивного розвитку глибинних розломів. На підставі цієї особливості можна стверджувати, що наявність додатних геотермічних аномалій є критерієм газонасності для прогнозування покладів у межах локальних об'єктів прогину.

Ключові слова: математична модель, геотермальне поле, гіпсометричні рівні, геотермічні аномалії.

A mathematical model of the temperature field was constructed and the temperature values for hypsometric levels of 1000, 2000 and 3000 m were calculated. For these hypsometric levels, as well as a map of the isothermal surface +50 °C.

Working with this program involves the construction of digital models of the surface, ancillary operations with them and visualization of surfaces. The digital model of the surface has the form of values in the nodes of a rectangular regular grid, the dimension of which depends on the specific problem to be solved. The efficiency of the program of interpolation of two-dimensional functions is determined by the following aspects: a set of various interpolation methods; the ability of the researcher to control the various parameters of these methods; availability of means of an estimation of accuracy and reliability of the constructed surface; the opportunity to clarify the result based on the personal experience of the expert in view of various additional factors that could not be depicted as source data.

It is confirmed that the patterns of distribution of the natural thermal field in the upper part of the earth's crust are due to a number of reasons, the main of which are the lithological composition of rocks, features of tectonic structure and the nature of groundwater movement. As a result of the analysis of graphic constructions, a sharp decrease in the subsoil warming towards the Carpathian folded structure was witnessed. It has been scientifically proven that the subsoil warming within the Mukachevo basin is much higher than within the Solotvyno basin. The confinement of geothermal anomalies to zones of intensive development of deep faults has been confirmed mathematically and experimentally. Based on this feature, it can be argued that the presence of positive geothermal anomalies is a criterion of gas bearing capacity for predicting deposits within local deflection objects.

Keywords: mathematical model, geothermal field, hypsometric levels, geothermal anomalies.

Вступ. Вивчення геотермічного режиму Складчастих Карпат і Закарпатського прогину дає змогу розв'язувати теоретичні проблеми геології й геофізики [11]. Визначення його особливостей у межах Закарпатського прогину в контексті газонасності території є першочерговим завданням, адже встановлення закономірностей просторового поширення теплового поля допоможе з'ясувати умови формування території, газонасності, прогнозувати зони провідних глибинних розломів і наявність інтрузивних утворень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уперше результати досліджень геотермічних умов у межах Закарпатського прогину опублікували в 1956 році геофізики О. О. Потушанський і Г. О. Гандзюк [8]. Важливі питання геотермальних досліджень Закарпатського прогину висвітлено в праці С. Г. Думанського [3]. Також вагомий внесок у вивчення геотермічних умов у межах Закарпатського прогину зробив доктор геолого-мінералогічних наук, професор Р. І. Кутас [5–7]. Саме завдяки дослідженням цього автора вперше створено карту теплових потоків зазначеного регіону. Тематичні дослідження УкрНДІгаз (м. Харків) у 1960–1970 роки охоплювали питання пошуків, розвідки та використання термальних вод Закарпатського прогину. Величезний обсяг роботи з вивчення теплового поля, зокрема термальних вод Закар-

патського прогину, виконав колектив Берегівської геолого-розвідувальної експедиції. Зусиллями ГРЕ пробурено понад 30 термальних свердловин завглибшки до 1500 м, переважна більшість яких виявила низку родовищ і проявів термальних вод. Крім того, фахівці цієї організації підготували велику кількість дослідно-тематичних та узагальнювальних досліджень. З початку 60-х і до початку 90-х років XX століття в межах Закарпатського прогину Самбірська й Стрийська нафтогазорозвідувальні експедиції, а з кінця 90-х років і до сьогодні Стрийське відділення бурових робіт, що є структурним підрозділом АТ “Укргазвидобування”, з метою пошуків вуглеводнів пробурили низку свердловин завглибшки від 1000 до понад 4000 м. З-поміж інших досліджень у свердловинах проводили стовбурні вимірювання температури, зокрема й для визначення геотермічного градієнта. Закарпатський прогин характеризується дуже високими значеннями геотермічного градієнта [9]. Температурні умови в Закарпатському прогині ймовірно пов'язані з проявами в недавньому геологічному минулому магматичних і вулканічних процесів. У надрах Закарпатського прогину відбулося застигання магматичних інтрузивних тіл порід, яке спостережено в неоген-палеогенових відкладах розрізу Русько-Коварівського родовища [10]. Вони досить мінливі як у межах локальних ділянок, так і в межах різних частин Закарпатського прогину загалом.

Матеріали та методи дослідження. Перенесення тепла відбувається трьома основними процесами: кондуктивною теплопровідністю, тобто передаванням тепла безпосередньо від частинки до частинки; конвекцією, тобто механічним переміщенням нагрітих частинок речовини чи газу; електромагнітним випромінюванням (променевий теплообмін) [2]. Мінливість теплового поля в межах прогину зумовлена низкою чинників: історією геологічного розвитку території, комплексом складних геологічних процесів, що протікали в надрах прогину, блоковою будовою донеогенового фундаменту, мінливістю загальної товщини осадового чохла, кутами нахилу пластів, літофаціальними неоднорідностями, різною теплопровідністю гірських порід, динамікою руху підземних флюїдів, а також тектонічною активністю, проявами якої є тектонічні розломи різних порядків, інтрузивні та ефузивні утворення тощо. Високі теплові потоки, велика диференціація теплового поля в Панонській западині, Закарпатському прогині та інших структурах Панонського басейну пов'язані з активними геодинамічними процесами в цьому регіоні в кайнозой.

Загальний високий рівень теплових потоків міг утворитися тільки внаслідок розтягання літосфери й підняття глибинних нагрітих мас, які забезпечували підвищення температури до солідусних значень уже на глибинах 40–50 км [6]. Висновки стосовно регіональних особливостей теплового поля можна зробити тільки на основі статистичного оброблення

даних у межах однорідних тектонічних елементів. Унаслідок такого оброблення висновуємо, що похибка визначення теплового потоку в глибоких свердловинах становить 5–10 %. У свердловинах заглибшки понад 1000 м істотно зменшується вплив поверхневих чинників — рельєфу, змін клімату, інфільтрації вод, ерозії тощо. [6].

На основі термокаротажних діаграм промислово-геофізичних досліджень 68 опорних, параметричних, пошукових, розвідувальних і геотермальних свердловин створено карти розподілу температур на гіпсометричних рівнях -1000 (рис. 1), -2000 (рис. 2) та -3000 м (рис. 3), а також карту ізотермічної поверхні +50 °C (рис. 4). Карти ґрунтовано на даних стовбурних вимірювань температури у свердловинах, вистояних не менше ніж 20 діб, для встановлення теплових рівноваги й дотримання коректності побудов. Для побудови карт застосовано спеціальний програмний пакет Surfer (Golden Software), призначений для оброблення й візуалізації двовірних наборів даних, що описуються функцією типу:

$$z=f(x, y).$$

Робота із цією програмою передбачає побудову цифрових моделей поверхні, допоміжні операції з ними та візуалізацію поверхонь. Цифрова модель поверхні має вигляд значень у вузлах прямокутної регулярної сітки, розмірність якої залежить від конкретного розв'язуваного завдання [13]. Для зберігання таких даних Surfer використовує власні файли типу GRD (двоїчного або текстового формату). Ефек-

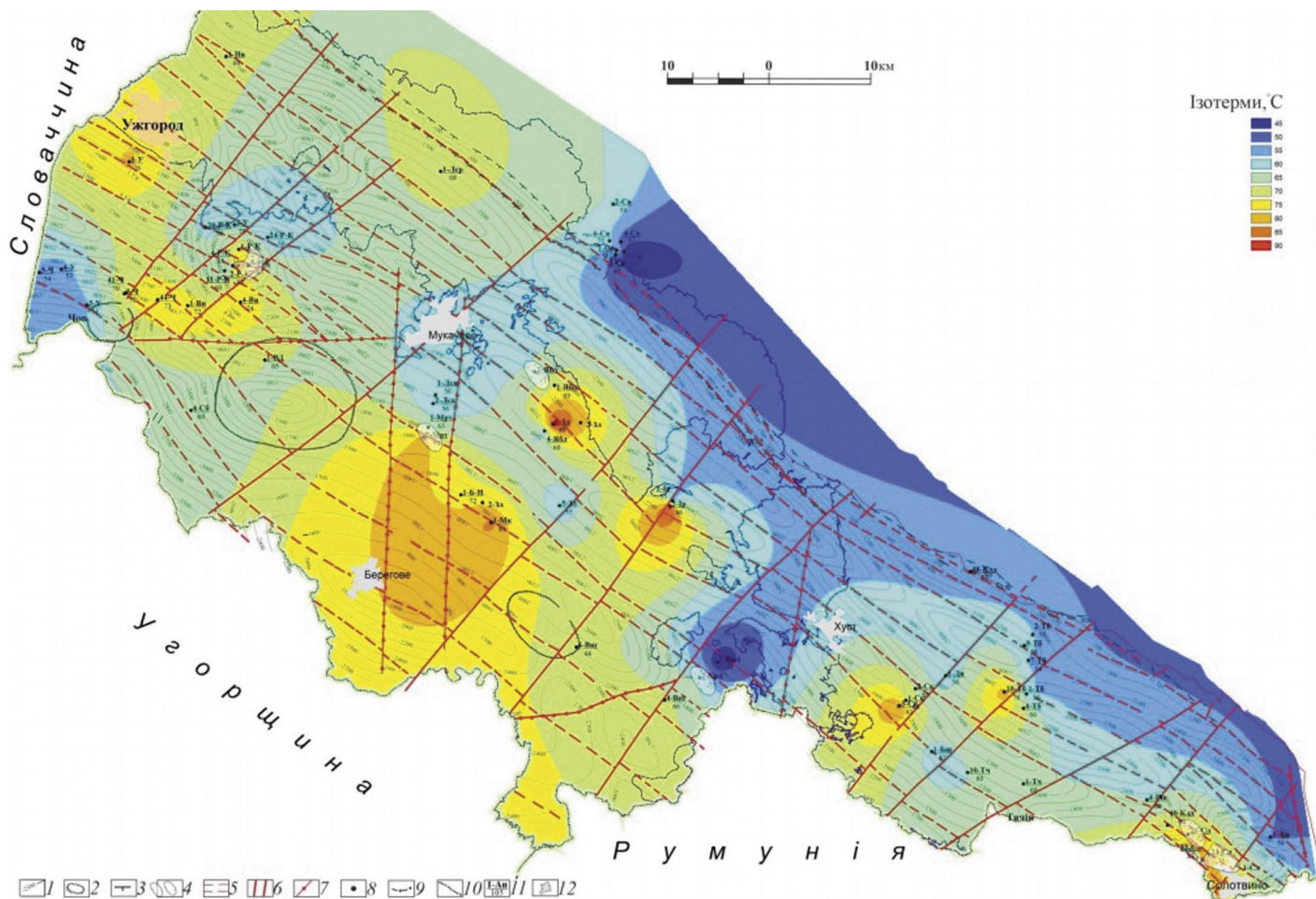


Рис. 1. Карта розподілу температур на гіпсометричному рівні -1000 м з накладеною структурною картою поверхні донеогенової основи 1 – ізогіпси донеогенової поверхні, м; 2 – палеовулкани; 3 – лінії насувів; 4 – газові родовища; 5 – повздовжні розломи; 6 – поперечні розломи; 7 – меридіональні розломи; 8 – глибокі свердловини; 9 – лінія державного кордону; 10 – границі Вигорлат-Путинської гряди та вулканічного пасма Шолес; 11 – у чисельнику: номер та назва свердловини, у знаменнику: температура °C на абсолютній позначці -1000 м; 12 – міста

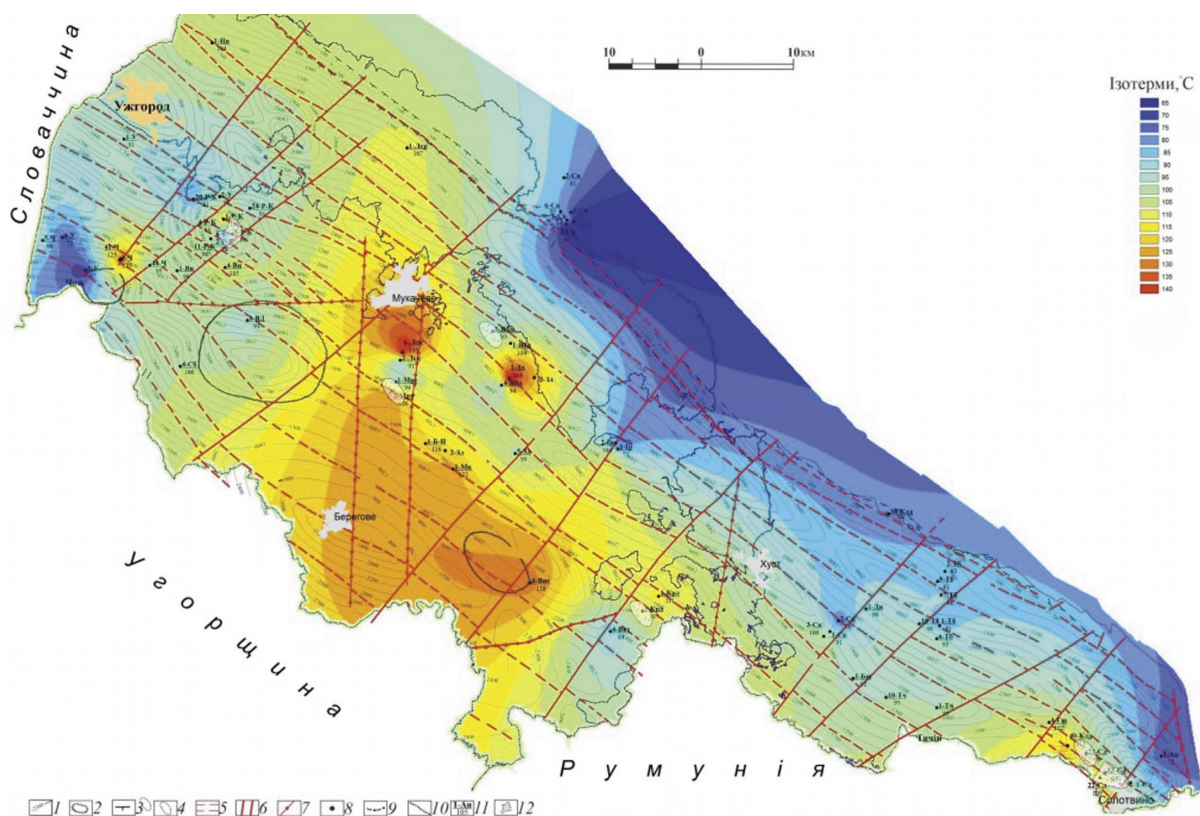


Рис. 2. Карта розподілу температур на гіпсометричному рівні -2000 м з накладеною структурною картою поверхні донеогенової основи 1 – ізогіпси донеогенової поверхні, м; 2 – палеовулкани; 3 – лінії насувів; 4 – газові родовища; 5 – повздовжні розломи; 6 – поперечні розломи; 7 – меридіональні розломи; 8 – глибокі свердловини; 9 – лінія державного кордону; 10 – границі Вигорлат-Путинської гряди та вулканічного пасма Шолес; 11 – у чисельнику: номер та назва свердловини, у знаменнику: температура °C на абсолютній позначці -2000 м; 12 – міста

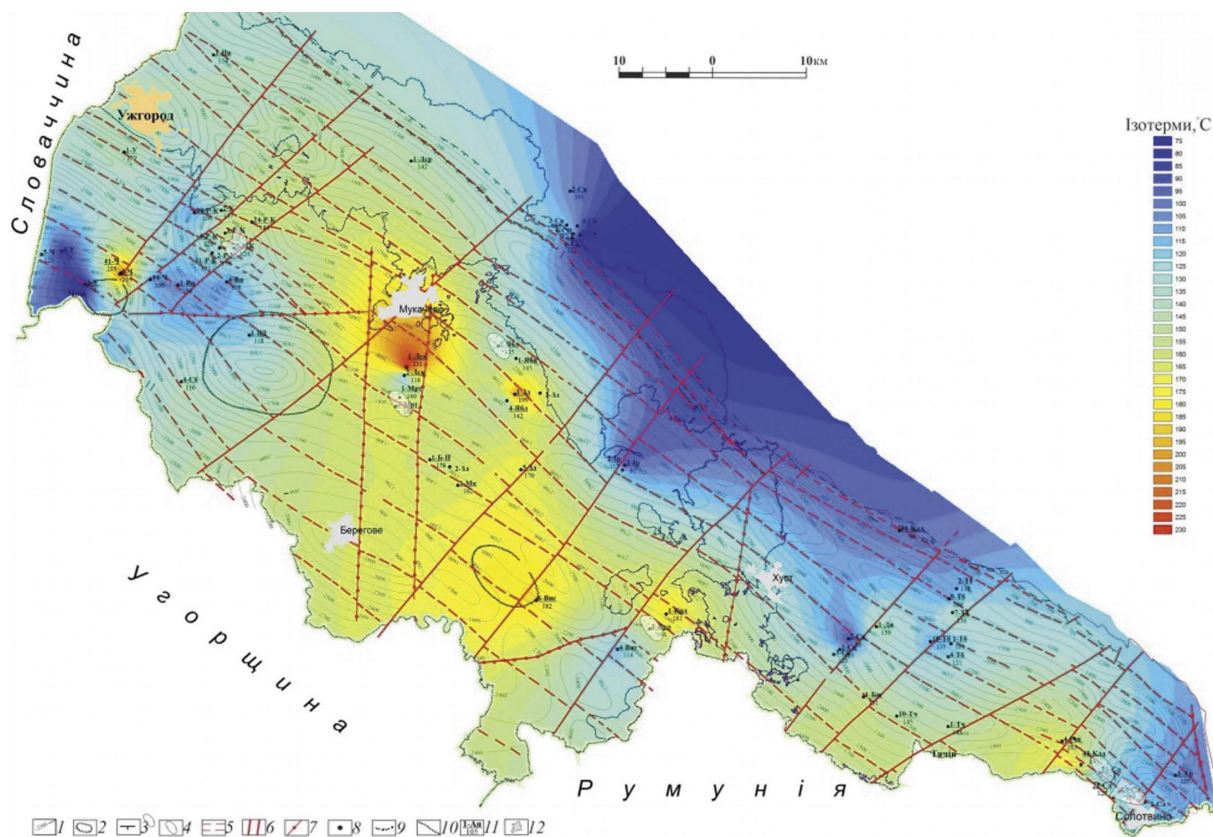


Рис. 3. Карта розподілу температур на гіпсометричному рівні -3000 м з накладеною структурною картою поверхні донеогенової основи 1 – ізогіпси донеогенової поверхні, м; 2 – палеовулкани; 3 – лінії насувів; 4 – газові родовища; 5 – повздовжні розломи; 6 – поперечні розломи; 7 – меридіональні розломи; 8 – глибокі свердловини; 9 – лінія державного кордону; 10 – границі Вигорлат-Путинської гряди та вулканічного пасма Шолес; 11 – у чисельнику: номер та назва свердловини, у знаменнику: температура °C на абсолютній позначці -3000 м; 12 – міста

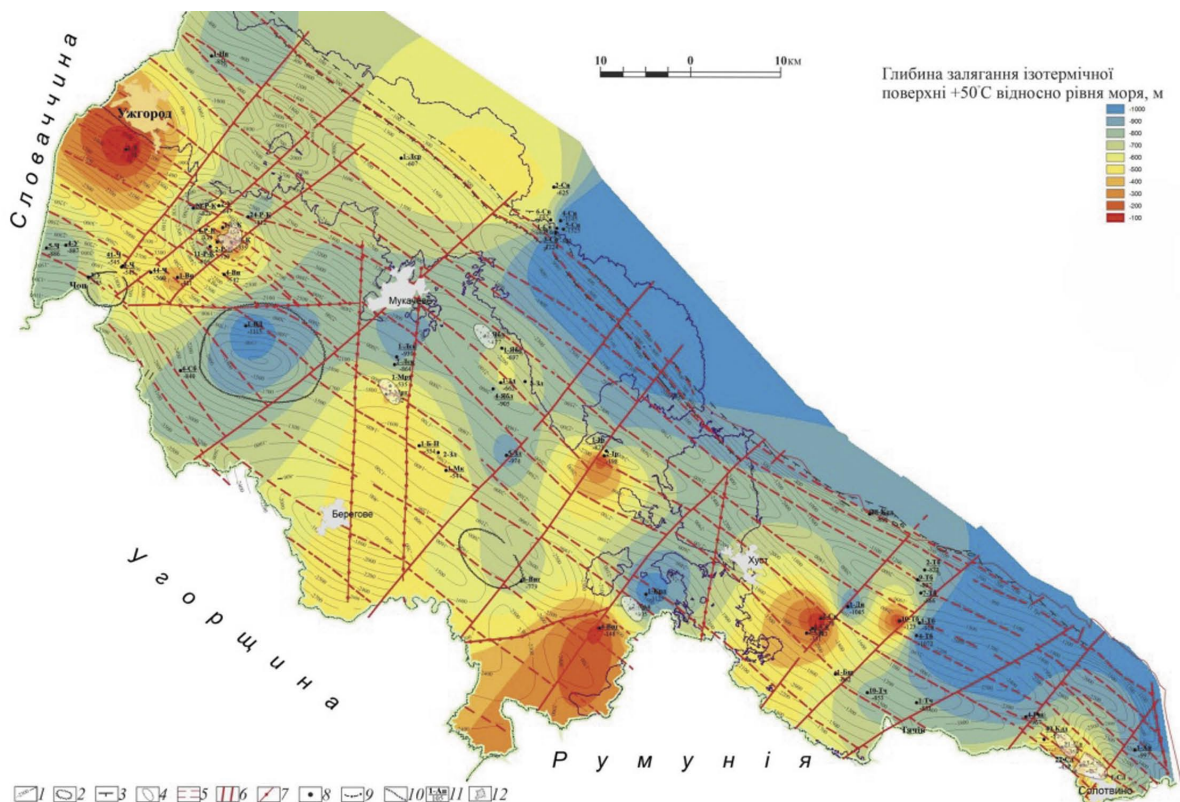


Рис. 4. Карта глибин залягання ізотермічної поверхні +50 °С Закарпатського прогину з накладеною структурною картою покрівлі донеогенової основи

1 – ізогіпси донеогенової поверхні, м; 2 – палеовулкани; 3 – лінії насувів; 4 – газові родовища; 5 – повздовжні розломи; 6 – поперечні розломи; 7 – меридіональні розломи; 8 – глибокі свердловини; 9 – лінія державного кордону; 10 – границі Вигорлат-Гутинської гряди та вулканічного пасма Шолес; 11 – у чисельнику: номер та назва свердловини, у знаменнику: абсолютна позначка глибини залягання ізотермічної поверхні + 50 °С; 12 – міста

тивність програми інтерполяції двовірних функцій визначається такими аспектами: набором різноманітних методів інтерполяції; можливістю дослідника керувати різними параметрами цих методів; наявністю засобів оцінки точності й достовірності побудованої поверхні; можливістю уточнити отриманий результат на основі особистого досвіду експерта з огляду на різноманітні додаткові чинники, які не можна було зобразити як вихідні дані. Розрахунок регулярної сітки можна виконувати для файлів наборів даних x, y, z будь-якого розміру [1]. У нашому випадку йдеться про нерегулярну сітку даних вимірювання температури в стовбурах 68 свердловин на трьох гіпсометричних рівнях: -1000, -2000 та -3000 м. Для врахування середньоквадратичної похибки вимірювань уздовж стовбура кожної свердловини в програмі Excel (виробник — компанія Microsoft) побудовано лінію тренду, яка максимально описує фактичні дані формулою поліноміальної регресії другого порядку, що має вигляд

$$y = ax^2 + bx + c.$$

За цією формулою розраховано значення температури для трьох гіпсометричних рівнів. У разі коли свердловина не діставалася певного рівня, дані екстраполювали за вище описаною формулою. Перерахунок даних на регулярну сітку здійснювано за допомогою методу універсального кригінгу. Кригінг — це різновид узагальненої лінійної регресії, який використовує статистичні параметри для знаходження оптимальної оцінки в сенсі мінімального середнього відхилення під час побудови поверхонь. Універсальний кригінг передбачає, що є домінуючий тренд у даних і його можна моделювати детермінованою функцією або поліномом. Цей поліном отримується з вихідних вимірюваних точок, і автокорре-

ляція моделюється з довільних похибок. Після встановлення моделі на довільні похибки поліном додається назад до прогнозувань, щоб отримати значущі результати [4].

Результати і їхній аналіз. Нижче наведено приклад розрахунку температури на основі фактичних замірювань у сверд. № 6-Сваліява (рис. 5). У колонці “А” вказано назву свердловини та її номер, у “В” — альтитуду свердловини, у “С” — фактичну глибину свердловини. У колонки “Н” та “J” відповідно занесено результати фактичних вимірювань температури на різних глибинах за даними термокаротажних діаграм, які водночас було перераховано в абсолютні позначки (колонка “I”). Отримані результати для гіпсометричних рівнів -1000, -2000 та -3000 м наведено відповідно в колонках “D”; “E” та “F” (візуалізацію розрахунків подано на графіку внизу ліворуч). У колонці G розміщено результат розрахунку температури ізотермічної поверхні +50 °С щодо рівня моря, візуалізацію якого подано на графіку в нижньому куті праворуч.

На картах розподілу температур на гіпсометричних рівнях -1000, -2000 та -3000 м у межах Мукачівської западини простежується контрастна регіональна додатна температурна аномалія в районі її південного борту з центром розміщення сверд. № 6-Виноградово. Аномалія чітко корелюється з Берегівським міоценовим магматичним комплексом (рис. 6, 7), який здебільшого перекритий осадовою товщею міоцену. У межах цієї аномалії розміщується Мартівське родовище вуглекислого газу, приурочене до інтрузивного тіла. По покрівлі донеогенової гетерогенної основи простежується густа мережа пересічень регіональних повздовжніх, поперечних і меридіональних глибинних тектонічних розломів. На графічних побудовах також позначено локальну контрастну

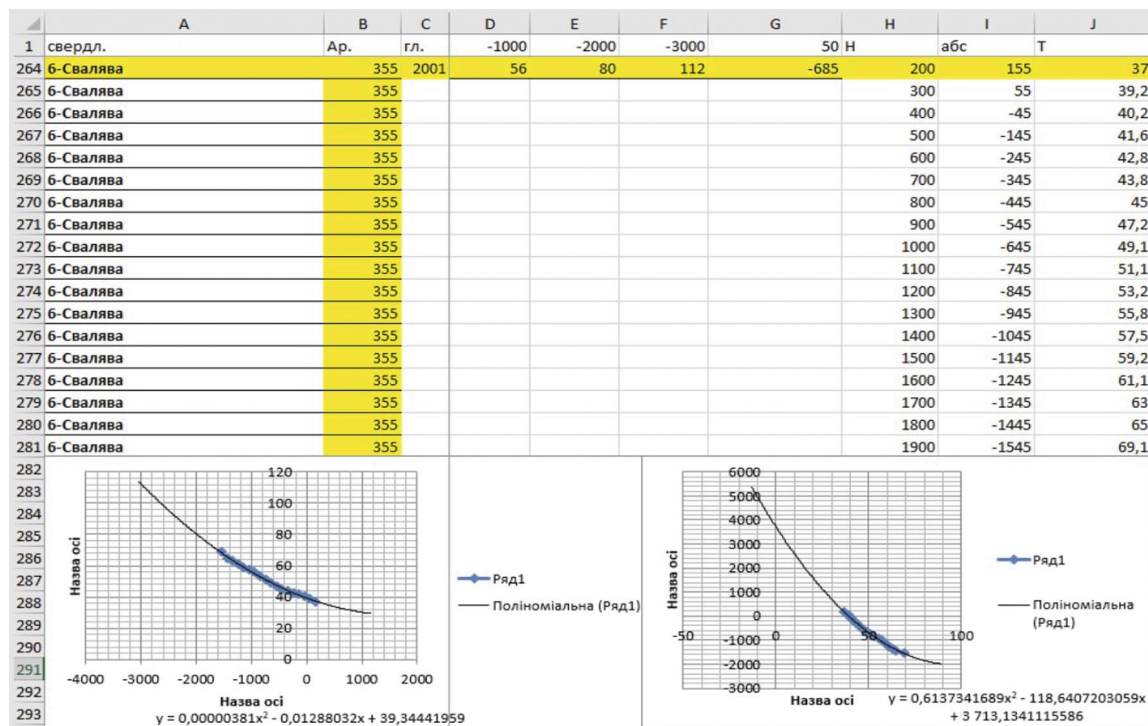


Рис. 5. Розрахунок температури на різних гіпсометричних рівнях, а також глибини залягання ізотермічної поверхні +50 °С на основі фактичного замірювання температури у стовбурі свердловини (на прикладі сверд. № 6-Свалява)

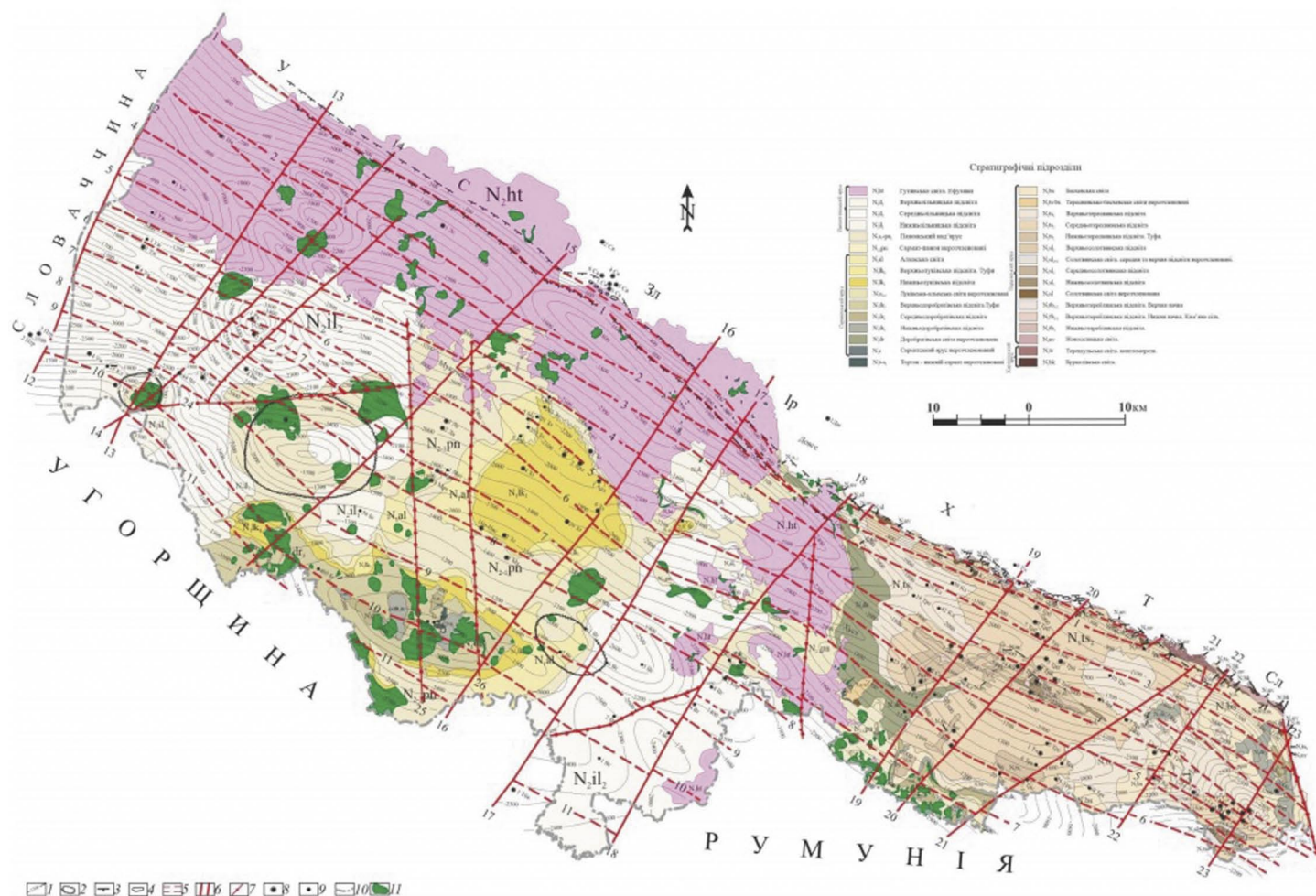


Рис. 6. Геологічна карта поверхні та структурна карта покрівлі донеогенових відкладів Закарпатського прогину
Склали: О. С. Щерба, Н. Я. Радковець, А. А. Локтєв (карта поверхні побудована за матеріалами колективу підприємств НАК «Нафтогаз України») 1 – ізогипси донеогенової поверхні, м; 2 – палеовулкани; 3 – лінії насувів; 4 – зона Пенінських скель; 5 – повздовжні розломи; 6 – поперечні розломи; 7 – меридіональні розломи; 8 – свердловини глибокого буріння; 9 – свердловини структурного буріння; 10 – лінія державного кордону; 11 – магматичні тіла

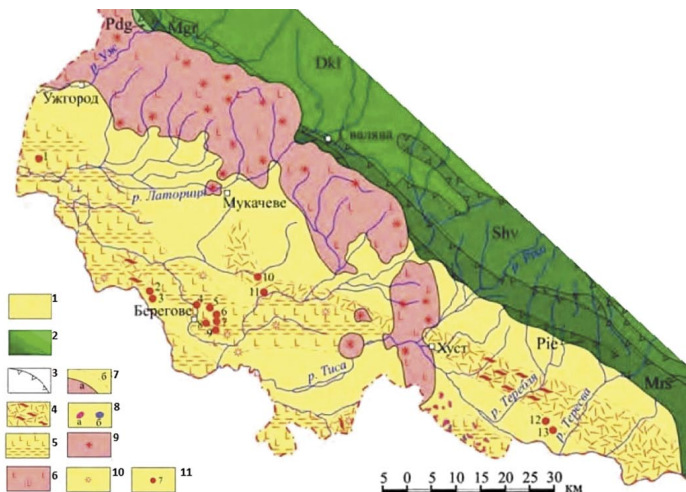


Рис. 7. Поширення кайнозойських магматичних порід і вулканічних центрів у Закарпатському прогині [13]

1 – автохтонний Закарпатський моласовий прогин; 2 – алохтонні зони Карпат; 3 – межі Карпатських зон; 4, 5, 6 – міоценові магматичні комплекси; 7 – межі поширення магматичних комплексів (а – на поверхні, б – поховані); 8 – інтрузії (а – кислі, б – основні); 9 – вулканічні центри; 10 – поховані вулканічні центри; 11 – місця розміщення Закарпатського мезозойського вулканічного комплексу з нумерацією свердловин

додатну аномалію, яка простежується на різних гіпсометричних рівнях у північно-східній частині Мукачівської западини й корелюється із Залузьким субрегіональним підняттям. У центральній частині цієї аномалії розміщуються сверд. № 1, 3-Залуж та № 1, 2, 3-Яблунів. У межах Залузької брахіантикліналі відкрито Станівське газове родовище, приурочене до групи повздовжніх розломів, що розбивають Станівську структуру на окремі блоки. Інші локальні додатні аномалії, що чітко простежуються до позначки -3000 м, відповідно приурочені до Чопського підняття в зоні перетину регіональних повздовжніх і поперечних розломів, у місці розміщення сверд. № 3 та 41-Чоп. Ще одна аномалія приурочена до Русько-Комарівської антиклінальної структури. Аномалія ускладнена інтрузивом, який є структуроформувальним чинником Русько-Комарівського газового родовища. Треба зазначити, що центр аномалії зіставляється з густою мережею повздовжніх глибинних розломів, які пересікаються з повздовжніми розломами вищого порядку. На гіпсометричних рівнях -2000 та -3000 м чітко фіксується локальна додатна аномалія в південно-східній частині Мукачівської западини із центром розміщення сверд. № 1 та 2-Королево, що межує з південно-західною частиною вулканічного пасма Шолес. У центрі цієї геотермічної аномалії розміщується Королівське газове родовище, на яке в структурному плані донеогенової поверхні накладаються два повздовжні регіональні розломи. На карті глибини залягання ізотермічної поверхні $+50^{\circ}\text{C}$ чітко вираховується додатна аномалія в крайній північно-західній частині Мукачівської западини. В її центрі розміщено сверд. № 1-Ужгород. Також ця аномалія вже меншого радіуса простежується на гіпсометричному рівні -1000 м. На рівнях -2000 й -3000 м її не виявлено. Показово, що в цій зоні абсолютні позначки покрівлі донеогенового фундаменту коливаються від -700 до -1700 м, що є одними із найвищих місць залягання донеогенового фундаменту щодо рівня моря. Розсіювання аномалії на гіпсометричних рівнях -2000 та -3000 м може бути спричинене незначною товщею неогенового чохла в цій зоні. Оскільки породи фундаменту консолідованіші, по-

рівнюючи з молодшими відкладами неогену, що залягають зверху, й унаслідок меншого ущільнення та більшого міжпорового простору відіграють роль теплового екрана, то їхня мінімальна товщина в межах цієї ділянки могла позначитися на збереженні тепла в надрах. Загалом у структурному плані додатних геотермічних аномалій, що простежуються на всіх досліджуваних гіпсометричних рівнях, відносні позначки залягання підосви товщі неогенових молас становлять від -1500 до -3600 м, що відповідає товщині неогенового чохла в межах 1700–3800 м. Від'ємні геотермічні аномалії простежуються в межах Мукачівської западини вздовж усієї південно-західної й західної частин прогину в районі м. Ужгород, у районі розміщення стратовулканів поблизу м. Чоп і стратовулкану в районі розміщення сверд. № 1-Велика Добронь. Також від'ємну геотермічну аномалію зафіксовано південніше Королівського газового родовища, у центрі якої розміщена сверд. № 4-Виноградів. Спільною ознакою всіх від'ємних геотермічних аномалій є те, що в їхньому структурному плані трапляються лише поодинокі глибинні розломи, а товщина неогенових молас сягає від 700 до 1700 м. У межах Солотвинської западини додатну температурну аномалію за картою глибини залягання ізотермічної поверхні $+50^{\circ}\text{C}$ й усіма досліджуваними гіпсометричними рівнями зафіксовано в районі Солотвинського й Дібровського газових родовищ. Також ця аномалія простежується й на гіпсометричних рівнях -1000 та -2000 м, а на гіпсометричному рівні -3000 м аномалія зміщується в сторону Грушівської структури, у межах якої пробурено сверд. № 4-Грушівська. Варто зауважити, що в межах Грушівської площі було отримано припливи газу 0,3–1,6 тис. м³/добу. У структурному плані цієї аномалії простежується густа мережа повздовжніх глибинних розломів, що контролюються поперечними регіональними розломами. Від'ємна регіональна аномалія зафіксована в центральній частині Солотвинської западини, збільшення її поширення за площею простежується в бік Карпатської складчастої споруди. Зазначимо, що в її структурному плані мережа глибинних тектонічних розломів досить рідка. Товщина неогенового структурно-тектонічного поверху загалом витримана по Солотвинській западині в межах 1800–2700 м. Вигорлат-Гутинська гряда, як і вулканічне пасмо Шолес, чітко корелюється з регіональною від'ємною геотермічною аномалією. Магматичні утворення, що слугують одним з основних агентів перенесення тепла з глибин, виверглися на денну поверхню й вистигли. Оскільки ці відклади утворені в одну фазу вулканізму й загалом мінералогічно представлені однорідно (на 90 % андезитобазальтами й андезитами) [12], то однорідність мінералогічного складу могла сприяти ліпшій теплопровідності і як наслідок — швидшому вистиганню. У межах залягання інтрузивних тіл надінтрузивні осадові товщі завдяки літологічній мінливості, а отже й різній теплопровідності, могли відігравати екранувальну роль для теплових потоків.

Висновки

З'ясовано, що температурні аномалії мають найбільші значення над центром родовища й розсіюються з віддаленням від нього. Зіставлення отриманих результатів з експериментальними даними засвідчує їхню добру відповідність.

Підтверджено, що закономірності розподілу природного теплового поля у верхній частині земної кори зумовлені низкою причин, головними з яких є літологічний склад порід, особливості тектонічної будови й характер руху підземних вод.

Аналіз графічних побудов засвідчує різке зменшення прогрітості надр у бік Карпатської складчастої споруди.

Науково доведено, що прогрітість надр у межах Мукачівської западини набагато вища, ніж у межах Солотвинської.

Математично визначено й експериментально підтверджено, що геотермічні аномалії приурочені до зон інтенсивного розвитку глибинних розломів. Ця особливість дає підстави стверджувати, що наявність додатних геотермічних аномалій можна вважати критерієм газоносності під час прогнозування покладів у межах локальних об'єктів прогину.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондарчук В. Г. Тектоника Карпат. Издательство академии наук Украинской ССР. – К., 1962. – 115 с.
2. Гогель Ж. Геотермия. – М.: Мир, 1978. – С. 11–135.
3. Думанский С. Г. Закономерности температурных аномалий нефтяных и газовых месторождений Прикарпатья и Закарпатья/С. Г. Думанский и др.; под ред.: С. Г. Думанского//Тр. УкрНИГРИ. – М.: Недра, 1965. – Вып 10. – 124 с.
4. Крігінг [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Крігінг> (дата звернення: 27.09.2019).
5. Кутас Р., Майцин Д. Геотермические условия зон неовулканизма Закарпатского прогиба//Вісник КНУ. Геологія. – 2014. – Вип. 3 (66). – С. 39–43.
6. Кутас Р. И. Тепловой поток и геотермические модели Земной коры Украинских Карпат//Геофизический журнал. – 2014. – № 6. – Т. 3. – С. 3–12.
7. Кутас Р. И. Відображення тектоніки Східних Карпат у тепловому полі//Геодинаміка. – 2011. – № 2 (11). – 149 с.
8. Локтев А. А. Тепловое поле, досвід та перспективи використання геотермальних ресурсів Закарпатського прогину//Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: матеріали конф. – Трускавець, 2019 р. – Т. 2. – 327 с.
9. Макаренко Ф. А. Тепловой режим недр СССР: монография/под. науч. ред.: Ф. А. Макаренко. – М.: Ордена трудового красного знамени институт, труды. – 1970. – Iss. 218. – 99 с.
10. Орлов О. О., Омельченко В. Г. Використання гідротермальної і петротермальної енергії землі//Геологічний журнал. – 2010. – № 4. – 39 с.
11. Осадчий В. Г., Крупський Ю. З., Куровець І. М., Грицик І. І., Приходько О. А. Геотермічні умовини Складчастих Карпат і Закарпатського прогину//Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2008. – № 1 (17). – С. 16–21.
12. Павлюк М. І., Ляшкевич З. М., Медведєв А. П. Українські Карпати в структурі Панкардії//Геодинаміка. – 2013. – Вип. 1 (14). – 53 с.
13. Пояснительная записка к Дипломному Проекту на тему “Визуализация инженерных и научных расчетов” Москва 2002 г. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.docsity.com/ru/vizualizaciya-inzhenernyh-i-nauchnyhraschetov/1451096/> (дата звернення: 24.01.2012).

REFERENCES

1. Bondarchuk V. G. Carpathian tectonics. Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. – Kiev, 1962. – 115 p. (In Russian).
2. Gogel J. Geothermia. – Moskva: Mir, 1978. – P. 11–135. (In Russian).
3. Dumansky S. G. Regularities of temperature anomalies of oil and gas fields of Prykarpattia and Zakarpattia/S. G. Dumansky and others; under the editorship of: S. G. Dumansky//Trudy UkrNIGRI. – Moskva: Nedra, 1965. – Iss. 10. – 124 p. (In Russian).
4. Kringing [Electronic resource]. Access mode: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Крігінг> (access date: 27.09.2019). (In Ukrainian).
5. Kutas R., Majcin D. Geothermal conditions of neovulcanism zones of the Transcarpathian depression//Visnyk KNU. Heolohiia. – 2014. – Iss. 3 (66). – P. 39–43. (In Russian).
6. Kutas R. I. Heat flow and geothermal models of the Earth's crust of the Ukrainian Carpathians//Geofizicheskij zhurnal. – 2014. – № 6. – Vol. 3. – P. 3–12. (In Russian).
7. Kutas R. I. Reflection of tectonics of the Eastern Carpathians in the thermal field//Heodynamika. – 2011. – № 2 (11). – 149 p. (In Ukrainian).
8. Loktev A. A. Thermal field, experience and prospects for the use of geothermal resources of the Transcarpathian Depression//Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia: materialy konf. – Truskavets, 2019. – Vol. 2. 327 p. (In Ukrainian).

9. Makarenko F. A. Thermal regime of the USSR: a monograph./for science. ed.: F. A. Makarenko. – Moskva: Ordena trudovogo krasnogo знамени institut, trudy. – 1970. – Iss. 218. – 99 p. (In Russian).

10. Orlov O. O., Omelchenko V. H. The use of hydrothermal and petrothermal energy of the earth//Heolohichniy zhurnal. – 2010. – № 4. – 39 p. (In Ukrainian).

11. Osadchyi V. H., Krupskiy Yu. Z., Kurovets I. M., Hrytsyk I. I., Prykhodko O. A. Geothermal conditions of the Folded Carpathians and the Transcarpathian Depression//Naukovyi visnyk IFNTUNH. – 2008. – № 1 (17). – P. 16–21 p. (In Ukrainian).

12. Pavliuk M. I., Liashkevych Z. M., Medvediev A. P. Ukrainian Carpathians in the structure of Pankardia//Heodynamika. – 2013. – Vol. 1 (14). – 53 p. (In Ukrainian).

13. Explanatory note to the Diploma Project on the topic “Visualization of engineering and scientific calculations” Moscow 2002. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.docsity.com/ru/vizualizaciya-inzhenernyh-i-nauchnyhraschetov/1451096/> (access date: 24.01.2012). (In Russian).

Рукопис отримано 13.05.2020.

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Редакція приймає оригінальні, раніше не опубліковані статті геологічної, геолого-мінералогічної та технічної тематики.

Статті треба надсилати в друкованому (два примірники) й електронному вигляді, бажано українською мовою.

Обсяг однієї наукової статті – до 25 стор. машинопису через 2 інтервали (разом з табл., фото, рис. та підписами до них, бібліографічним списком, анотацією, оглядовою – 6–7 стор., інформаційного повідомлення – 3–4 стор.

До рукопису потрібно додати акт експертизи й такі відомості про автора/авторів: прізвище, ім'я та по батькові (повністю); учене звання й учений ступінь; посада чи професія; місце роботи (назва установи чи організації); адреса місця роботи, номер телефону; адреса місця проживання, номер телефону, електронна адреса, ORCID.

До кожної статті обов'язково навести: індекс УДК, анотацію (українською та англійською), бібліографічний список за алфавітом (оформлений відповідно до сучасних вимог), рисунки, таблиці та підписи до них (окремі файли).

Комп'ютерні макети рисунків приймаються в разі дотримання таких умов:

Рисунки подаються окремими файлами, їх не потрібно розміщувати у файлі документу MS Word.

Р а с т р о в а графіка: чорно-біле зображення – *.tif чи *.psd (Adobe PhotoShop); повнокольорове зображення – *.tif, *.eps, *.psd-формат, роздільна здатність 300 dpi. Кольорова модель СМЮК, чорний колір в одному каналі.

В е к т о р н а графіка: файли формату *.ai, *.eps (Adobe Illustrator) чи *.cdr (CorelDraw). Використані шрифти мають бути подані окремо або переведені в криві. Растрову графіку до векторного макета не вносити.

• Редколегія може не поділяти думок автора.

• Автори відповідають за точність викладених фактів, даних, цитат, бібліографічних довідок, написання географічних назв, власних імен, геологічних термінів тощо.

Рішення про публікацію статті в журналі приймається на основі незалежної експертизи, яку організовує редакція журналу.

УДК 550.3

<https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.32-35>

І. В. ВАСИЛЬЄВА, провідний геолог (Український державний геолого-розвідувальний інститут), vasilieva1982@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>

I. VASILEVA, lead geologist (Ukrainian State Geological Research Institute), Kyiv, Ukraine, vasilieva1982@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГІЛЛЯ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕВМІСНИХ ПОРІД

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕЙ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

APPLICATION OF GEOPHYSICAL RESEARCH OF WELLS IN DETERMINING THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF COALS AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF CONTAINING ROCKS

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Геофізичні розвідувальні свердловини під час розвідки родовищ вугілля вирішують багато геологічних проблем. З-поміж них: розчленування літологічного розрізу, виділення вугільних пластів, визначення глибини їхнього залягання та кутів падіння порід, визначення потужності, будови, зольності, якісних характеристик вугілля, визначення синоніміки вугільних пластів та ін. Дані геофізичних досліджень свердловин (ГДС) використовують також, підраховуючи запаси вугілля на родовищі. Точність геофізичного визначення фізичних і механічних властивостей гірських порід оцінюють, порівнюючи отримані результати за даними ГДС і дослідження зразків гірських порід у лабораторії.

ГДС використовують для розв'язання таких геологічних проблем: літологічне розчленування товщі; розподіл вугільних пластів і визначення їхньої глибини; визначення товщини, структури та зольності вугільних пластів, а також визначення характеристик якості вугілля; виділення тектонічних розломів у розрізі свердловин, визначення їхнього типу та амплітуди; визначення гідрологічних умов експлуатації, вивчення температурного та газового режиму гірських порід, технічного стану свердловин.

Крім того, дані ГДС визначають й уточнюють параметри та кондиції розрахунку розвіданих запасів вугілля.

Інтерпретація геофізичних даних – це уточнення та пояснення отриманої інформації щодо геології ділянки та фізико-механічних властивостей об'єкта. Її рішення має велике практичне значення для пошуків і розвідки родовищ корисних копалин.

У статті надано огляд деяких наявних методів визначення зольності вугілля за результатами ГДС і прогнозування геологічних умов видобутку вугілля.

Ключові слова: геофізичні дослідження свердловин, вугільні родовища, фізико-механічні властивості порід, якісні характеристики вугілля, інтерпретація геофізичних даних.

Geophysical exploration wells during the exploration of coal deposits solve many geological problems. Among them: the lithological section subdivision, allocation of coal seams, the definition of the depth of their occurrence and the angles of incidence, the definition of power, structure, ash, coal quality characteristics, determination of synonymy coal seams, and others. Data of GSW used in the calculation of coal reserves in the field. Precision geophysical definition of physical and mechanical properties of rocks is estimated by comparing the results obtained with the data of GSW, and rock samples in the laboratory.

Geophysical surveys of boreholes are used to solve the following geological problems: lithological dissection of the section; allocation of coal seams and determination of their depth; determining the thickness, structure and ash content of coal seams, as well as determining the characteristics of coal quality; highlighting tectonic faults in borehole sections, determining their type and amplitude; determination of hydrological operating conditions, study of the temperature and gas regime of rocks, technical condition of boreholes.

In addition, GIS data is used to calculate the explored coal reserves.

Interpretation of geophysical data is the clarification and explanation of the information received regarding the geology of the site and the physical and mechanical properties of the object. Interpreting geophysical data is challenging. Its solution is of great practical importance for the prospecting and exploration of mineral deposits. The article provides an overview of some of the existing methods of determining the ash content of coal on the results of GSW and forecast geological conditions of coal mining.

Keywords: geophysical research borehole, coal deposits, physical-mechanical properties of rocks, coal quality features.

Геофизические исследования скважин (ГИС) широко используются в комплексе решений геолого-геофизических, технических, инженерно-гидрогеологических задач и являются основой для определения физико-механических свойств пород, вмещающих угольные пласты [2].

В истории развития различных методов ГИС можно выделить несколько этапов, каждый из которых характеризуется определенными научными и технологическими идеями и достижениями [5].

На начальном этапе (1906–1930 гг.) происходило становление первых методов геофизических исследований скважин.

Например, геотермические измерения начали проводиться в XX в. (1906–1916 гг.).

Первые измерения удельного электрического сопротивления в разведочных скважинах горных пород угольных месторождений относятся к 1921 году [5]. Позже они дополнились комплексом необходимых геофизических исследований, среди которых гамма-каротаж, акустический каротаж и др.

В период 1930–1960 годов разработаны и внедрены электрические, электромагнитные, магнитные, ядерно-магнитные, ядерные, сейсмоакустические, термические, геохимические методы каротажа. Создана аппаратура с соответствующими

щей методикой проведения исследований. Одновременно с главными решались обратные задачи интерпретации.

Следующий этап (1960–1980 гг.) связан с революцией в области создания новейших средств вычисления, что позволило использовать разработки прикладной математики для решения прямых и обратных геолого-геофизических задач при совершенствовании уже существующих и создании новых методов ГИС.

Современный этап истории ГИС обусловлен бурным развитием микроэлектроники, повышением надежности и функциональности скважинной аппаратуры, устранением технических ограничений на обработку огромных цифровых массивов исходной информации в режиме реального времени.

Новейшие технологии бурения, прежде всего, наклонно-направленных и горизонтальных скважин, дали толчок развитию информационно-измерительных систем, позволяющих решать задачи геонавигации скважины и изучения геологической среды методами ГИС непосредственно в процессе бурения [3].

Геофизические исследования буровых скважин при разведке угольных месторождений применяются для решения следующих геологических задач: литологического расчленения разреза; выделения пластов угля и определения глубины их залегания; определения мощности, строения и зольности угольных пластов, а также определения характеристик качества углей; выделения в разрезах буровых скважин тектонических нарушений, определения их типа и амплитуды; определения гидрологических условий эксплуатации, изучения температурного и газового режима пород, технического состояния буровых скважин.

Кроме того, данные ГИС применяются при подсчете разведанных запасов углей.

Для месторождений угля применяются типовые комплексы геофизических исследований угольных буровых скважин. Они разделяются на общие исследования по всему стволу с целью изучения разреза буровой скважины, выполняемые в масштабе глубин 1:500 или 1:200 (поисковый комплекс), и детальные исследования в интервалах залегания угольных пластов, выполняемые в масштабе глубин 1:50 и 1:20 (детализационный комплекс).

В интервалах залегания тонких угольных пластов (мощностью до 1,3 м), средней мощности (1,3–3,5 м) и пластов сложного строения детализационные исследования проводят в масштабе глубин 1:20, а в интервалах залегания более мощных пластов угля простого строения – в масштабах глубин 1:50 [1].

Интервал детального каротажа должен охватывать не менее 3 м мощности вмещающих пород непосредственной кровли угольных пластов и 2 м непосредственной почвы. При детальных исследованиях кровли и почвы угольных пластов для всех месторождений угля обязательно применяются следующие методы ГИС: каротаж сопротивлений (КС); боковой каротаж (БК, БТК); гамма-каротаж (ГК); гамма-гамма-каротаж (ГГК); акустический каротаж (АК); диаметр скважины (ДС) [5].

Инклинометрия должна проводиться в разведочных буровых скважинах – вертикальных при глубинах более 300 м и наклонных при глубинах более 100 м. Термометрия проводится во всех буровых скважинах глубиной более 500 м. При каждом виде каротажа выполняется определение удельного сопротивления промывочной жидкости по стволу буровой скважины.

Кроме того, из отдельных угольных пластов производятся отбор керн боковыми стреляющими грунтоносами для уточнения или подтверждения мощности и строения пересечений угольных пластов, выделенных по комплексу ГИС,

а также для отбора образцов угля и пород на химико-технологический анализ.

При исследовании буровых скважин в осложненных условиях, кроме основных геофизических методов, применяются дополнительные методы ГИС [8].

Сводная каротажная диаграмма поискового комплекса включает все диаграммы, геологический разрез буровой скважины по данным бурения и каротажа с указанием выхода керна, углов падения, наименования пластов, маркирующих горизонтов.

Сводная каротажная диаграмма детализационного комплекса составляется по каждому пересечению пласта и включает все диаграммы, разрез угольного пласта по данным бурения и каротажа. Указываются выход керна, углы падения, глубина отбора проб грунтоносами.

Изучение геологического строения, идентификация угольных пластов, выявление тектонических нарушений, а также определение качественных характеристик углей выполняются на основе корреляции каротажных диаграмм поискового или детализационного комплекса ГИС [6].

По данным комплекса ГИС определяются мощности угольного пласта:

- общая – сумма мощностей угольных пачек и внутрипластовых породных прослоев;
- полезная – сумма мощностей только кондиционных угольных пачек;
- подсчетная – соответствует установленным на участке условиям.

Мощность, строение и глубина залегания угольных пластов определяются по данным методов ГК, ГГК, БТК и БК. Геофизические диаграммы строятся в масштабах глубин 1:50 и 1:20. Кроме того, точность определения данных параметров контролируется отбором проб грунтоносами разного типа с интервалом от 2,5 до 10 см.

Зольность (содержание минеральных компонентов в угле) является основным показателем качества углей. По этому показателю устанавливаются кондиции для подсчета запасов. По предельному значению зольности, принятому для углей на данном участке разведки, производится разграничение углей и углистых пород.

Оценка зольности и других показателей качества углей (влажность, сернистость, выход летучих веществ и др.) может выполняться по химическому анализу керновых проб и данным ГИС. Возможно, также комбинированное определение зольности по данным ГИС и отбора образцов пород.

Зольность и другие характеристики качества углей определяются с помощью корреляционных зависимостей между показателями качества углей и геофизическими параметрами (плотность, удельное электрическое сопротивление, естественная гамма-активность, эффективный атомный номер).

Корреляционные зависимости между зольностью (и другими характеристиками качества углей) и геофизическими параметрами устанавливаются путем статистической обработки данных ГИС по пересечениям угольных пластов при полном выходе и хорошей сохранности угольного керна и при условии соответствия мощности и строения пласта по керну и каротажу.

Определение зольности пластов угля по данным селективного гамма-гамма-каротажа (ГГК-С)

Данный метод позволяет провести сравнительную характеристику плотности изучаемых пород и заключается в установлении зависимости между геофизическим параметром и зольностью; является универсальным при определении зольности для угольных пластов простого строения и большой мощности. Од-

нако, несмотря на хорошие результаты метода ГГК-С, он имеет ограниченное применение в скважинах со сложными горнотехническими условиями. Зависимость геофизического параметра $I_{отн}$ от зольности имеет нелинейный характер, что приводит к определенным трудностям при интерпретации. Осложняющим фактором является и большая изрезанность итоговых кривых. В результате необходимо разбивать пласт на однородные пачки с коэффициентом вариации параметра не более 20 % и для каждой пачки определять зольность A^d по установленной зависимости. Средняя пластовая зольность вычисляется по формуле

$$A^d = \sum A_i^d \cdot h_i \cdot \delta_i / \sum h_i \cdot \delta_i,$$

где δ_i , h_i – плотность и мощность i -й пачки.

Определение зольности угольных пластов по комплексу геофизических методов: гамма-каротаж + электрический каротаж + калвернометрия (ГК + КС + ДС)

В гамма-каротаже (ГК) – регистрируется естественное γ -излучение и определяется его интенсивность. Основные задачи – выявление радиоактивных пород в разрезе скважины и литолого-стратиграфическое расчленение осадочных толщ по содержанию глинистой фракции. Данные ГК хорошо коррелируются с каротажом ПС. Скважинный снаряд рассчитан на измерение как естественного, так и вызванного γ -излучения.

Электрический каротаж – наиболее развитый и широко применяемый вид ГИС [4]. Имеет следующие основные модификации.

Каротаж на постоянном токе – измеряют кажущееся удельное электрическое сопротивление (каротаж КС) и потенциалы спонтанной поляризации (каротаж ПС). Физические основы – дифференциация горных пород по удельному электрическому сопротивлению и самопроизвольно возникающим в скважине потенциалам электрохимических процессов. Каротаж ПС позволяет наиболее простым способом определять границы горных пород, но в разной геологической обстановке критерии его интерпретации могут меняться.

Кавернометрия – определяет горизонтальное сечение скважины по 3...4 радиусам рычажно-электрическим способом; позволяет уточнить разрез скважины (размыв в глинистых породах), получить данные для интерпретации БКЗ и НК, технические данные для процесса бурения.

Изучив влияние состава минеральных примесей на геофизические параметры (интенсивность естественного гамма-излучения – I_γ , кажущуюся электропроводность – σ_k), ученые пришли к пониманию необходимости корректировки связи $A^d = f(I_\gamma, \sigma_k)$ в зависимости от петрографического состава углей и изменения вещественного состава минеральных примесей в них. Так, например, с уменьшением содержания кремнезема и увеличением содержания каолинита в угле возрастает его проводимость. Естественная радиоактивность угля возрастает с увеличением содержания в нем фюзенина. Поэтому для учета факторов влияния используются многофункциональные связи зольности углей с геофизическими параметрами.

Изучение физико-механических свойств углевмещающих пород.

Определение физико-механических свойств углевмещающих пород осуществляется по данным акустического каротажа (АК). Регистрация диаграмм в поисковом масштабе 1:200 выполняется по всему разрезу карбоновых отложений. В детализационном масштабе 1:50, 1:20 исследуется кровля (20 м) и подошва (10 м) основных угольных пластов.

По данным акустического каротажа определяются следующие физико-механические параметры пород: предел прочности при одноосном сжатии, предел прочности при

растяжении параллельно слоистости, общая пористость, разновидности плотности, статический модуль Юнга и другие. Кроме этого, в разрезах скважин определялись интервалы “ослабленных” (трещиноватых, комковатой структуры, расслоенных) пород. Материалы АК сопоставляются и привязываются к стандартному комплексу методов ГИС.

Геофизические исследования разреза скважины выполняются с помощью различных методов, специальных приборов и оборудования. Интерпретируя полученные данные специалисты, получают определенную информацию о литологии разреза, о расчленении горных пород, их физических свойствах и т. п. [9].

Интерпретация геофизических данных – это уточнение и объяснение полученной информации, касающейся именно геологии участка и физико-механических свойств объекта. Интерпретация геофизических данных может быть качественной и количественной.

При качественной интерпретации по графикам, разрезам, картам распределения параметров определяют вероятное положение исследуемых объектов в геологическом разрезе.

При количественной интерпретации определяют геометрические параметры нужных объектов (размеры, форму, глубину залегания) и физические свойства объектов. Количественная интерпретация – это, в первую очередь, решение так называемых прямых и обратных задач.

Главной задачей является предоставление конкретных выводов о геологическом строении площадки исследования (отдельного района). Проводя инженерно-геологические изыскания необходимо учитывать эти данные для получения более подробной и разносторонней информации об участке.

Интерпретация геофизических данных основана на прямой связи между геофизическими аномалиями и геологическими факторами. Благодаря этим двум направлениям можно объяснить то или иное поведение грунтовых масс и горных пород в отдельном районе, а также спрогнозировать появление на участке исследования опасных процессов техногенного характера.

В наиболее простых случаях интерпретация достигается путем выделения и корреляции особенностей геофизического поля, с привлечением контрольных геологических данных по скважинам и др.

В более сложных ситуациях для интерпретации применяется математический подход. Он требует совместной обработки и согласованного объяснения разнородных данных, которые делятся на три категории:

1. Графики, карты геофизических аномалий, годографы, вариационные кривые и т. п.
2. Карты, вариационные диаграммы, сведения о физических параметрах.
3. Опорные и контрольные геологические данные о глубине залегания отдельных горизонтов, вскрытых скважинами, о доминирующем простирании пликтивных и разрывных структур и т. п.

В любом случае необходимо учитывать все полученные данные для правильной и точной интерпретации в результате исследования. Инженерные изыскания только в комплексе позволяют получить всю необходимую геологическую характеристику участка исследования.

С учетом геологических условий строится модель распределения физических параметров горного массива. Модель связывает между собой разные стороны изучаемых параметров, но оставляет свободными некоторые переменные (глубину расположения геологической границы, ориентацию разрывов и т. п.). В рамках принятой модели ищется решение, обеспечи-

ваюче кращу схожимість вичислительних і вимірних величин. В разі недопустимих розходжень рішення з контрольними даними модель ускладнюється або замінюється. При дослідженні верхніх горизонтів земної кори, пошуках і розвідці місороджень, установленні фізичних властивостей гірських порід інтерпретуються дані всіх методів польових і скважинних геофізических досліджень.

Інтерпретація даних є невід'ємною частиною геофізических досліджень, оскільки багато геологіческі процеси можна пояснити тільки після отримання конкретних даних і порівняти їх з установленними стандартами в тому або іншому районі, що дозволяє зробити прогноз геологіческої моделі місцевості (участка).

Інтерпретація геофізических даних – це складна задача, рішення якої має важливе практическе значення для пошуку і наступної розвідки місороджень корисних копалин. Геофізика входить в число геологорозвідочних робіт, проводимих з метою виявлення і оцінки запасів мінерального сировини. З її допомогою вдасться вирішувати задачі, пов'язані з пошуком і розвідкою вугільних місороджень. [10].

Інтерпретація геофізических даних здійснюється з допомогою математического і фізического моделювання процесів, методів статистического аналізу, рішення систем нелінійних петрофізических рівнянь і інших лінійно-статистических методів. Таким чином, ГИС і наступна їх інтерпретація ґрунтується на широкому спектрі даних, враховує всі геологіческі фактори і зв'язки між ними і геофізическими параметрами.

Використання ГИС при розвідці, дорозвідці вугільних місороджень, установленні і корекції кондіцій при підрахунку запасів, визначенні гірно-геологіческих умов обробки місородження дозволяє мінімізувати витрати на отримання необхідної інформації, деталізувати загальну модель місородження, удешевити процес збору і обробки даних.

Сьогодні існує багато комп'ютерних геологіческих програм, здатних з точністю провести розрахунок і вивести остаточні результати в найкоротші терміни. Висока ефективність застосування інтелектуальних методів аналізу даних визнана геофізиками всього світу. В найближчому постійне розвиток науки і технологій буде ще більше впливати на оптимізацію і вдосконалення методів інтерпретації геофізических даних, що позитивно відобразиться не тільки на якості розвідочних робіт, але і на їх вартості і термінах виконання.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геофізическі методи дослідження скважин. Справочник геофізика. Під ред. В. М. Запорожца. – М.: Недра, 1983. – 591 с.
2. Горбачев Ю. М. Геофізическі дослідження скважин. – М.: Недра, 1990. – 298 с.
3. Гриб Н. Н., Никитин В. М. Изучение показателей качества углей и горно-геологических условий разработки угольных месторождений по результатам геофизических исследований скважин// Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, г. Нерюнгри. Академия наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск. Наука и образование. – 2015. – № 4. – С. 34–40.
4. Дахнов В. Н. Электрические и магнитные методы исследования скважин. – М.: Недра, 1981. – 344 с.
5. Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. Общий курс геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1984. – 432 с.
6. Каргаполов А. А., Макеев С. Ю., Свистун В. К., Гуня Д. П. Комплексное использование геолого-геофизических методов для выделения зон скопления метана//Сборник научных трудов "Геотехническая механика". – Днепропетровск, 2012. – Вып. 102. – С. 147–153.

7. Курганський В. М., Тишаев І. В. Електричні та електромагнітні методи дослідження свердловин: Навчальний посібник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. – 175 с.

8. <https://pstu.ru/files/file/gnf/gis.pdf>.

9. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.

10. <http://www.geokniga.org/books/2654>.

REFERENCES

1. Geophysical methods of wells research. Directory geophysics. Red. V. M. Zaporozhcha. – Moskva: Nedra, 1983. – 591 p. (In Russian).
2. Gorbachev Ju. M. Geophysical exploration of wells. – Moskva: Nedra, 1990. – 298 p. (In Russian).
3. Grib N. N., Nikitin V. M. Study of coal quality parameters and geological conditions of coal mining on the results of well logging//Technical Institute (branch) of the North-Eastern Federal University, Neryungri. The Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk. Nauka i obrazovanie. – 2015. – № 4 – P. 34–40. (In Russian).
4. Dahnov V. N. Electric and magnetic methods for wells. – Moskva: Nedra, 1981. – 344 p. (In Russian).
5. Djakonov D. I., Leontev E. I., Kuznecov G. S. The general course of well logging. – Moskva: Nedra, 1984. – 432. (In Russian).
6. Kargaplov A. A., Makeev S. Ju., Svistun V. K., Gunja D. P. Integrated use of geological and geophysical methods to isolate zones of methane accumulations//Sbornik nauchnyh trudov "Geotekhnicheskaja mehanika". – Dnipropetrovsk, 2012. – Iss. 102. – P. 147–153. (In Russian).
7. Kurhanskij V. M., Tishaev I. V. Electrical and electromagnetic methods holes: The Manual. – Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskij universytet", 2011. – 175 p. (In Ukrainian).
8. <https://pstu.ru/files/file/gnf/gis.pdf>.
9. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
10. <http://www.geokniga.org/books/2654>.

Рукопис отримано 3.07.2020.



**ШАНОВНІ НАУКОВЦІ
З ГЕОЛОГІЧНОГО НАПРЯМУ!**

Запрошуємо вас до співпраці.
Пропонуємо сторінки нашого видання для висвітлення ваших наукових досліджень.

У цьому році журнал у котрі підтвердив свій **високий науковий рівень**, пройшовши перереєстрацію наукових фахових видань України **атестаційною комісією МОН**.

Йому надано категорію «Б» з геологічної (17.03.2020 р.) і технічної (17.03.2020 р.) галузей науки за спеціальностями:

103 – науки про землю,
184 – гірництво,
185 – нафтогазова інженерія та технології.

Редколегія журналу
«Мінеральні ресурси України»

УДК 553.98

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.36-42>

Г. І. РУДЬКО, д-р геол.-мінерал. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, професор, голова (Державна комісія України по запасах корисних копалин), м. Київ, Україна, office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

В. В. СОБОЛЬ, заступник голови ДКЗ з питань нафти та газу (Державна комісія України по запасах корисних копалин), Київ, Україна, vasyi.sobol@dkz.gov.ua

H. RUDKO, Doctor of Geology and Mineralogy, Doctor of Geographical Sciences, Doctor of Technical Sciences, professor, Chairman (State Commission of Ukraine on Mineral Resources), Kyiv, Ukraine, office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

V. SOBOLOV, Deputy Chairman on Oil and Gas (State Commission of Ukraine on Mineral Resources), Kyiv, Ukraine, vasyi.sobol@dkz.gov.ua

ПЕРСПЕКТИВИ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ УКРАЇНИ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ ДЛЯ НАРОЩУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВОГО ПОТЕНЦІАЛУ УКРАЇНИ

PROSPECTS OF OIL-AND-GAS-BEARING CAPACITY OF UKRAINE AT GREAT DEPTHS FOR THE EXPANSION OF HYDROCARBON POTENTIAL OF UKRAINE

Енергетична незалежність – важливий складник стабільного розвитку й безпеки держави. Україна має потужний вуглеводневий потенціал надр, тому першочерговим завданням є пошук і розвідка нових родовищ вуглеводневої сировини. Один із важливих напрямів нарощення потенційних ресурсів і запасів нафти й газу – освоєння великих глибинних (понад 4500–5000 м) покладів, оскільки запаси вуглеводнів на малих і середніх глибинах у багатьох регіонах великою мірою вичерпані. На території України основні перспективи відкриття покладів нафти й газу на великих глибинах сьогодні пов'язують з Дніпровсько-Донецькою западиною. Для цього важливо провести оцінку можливої нафтогазоносності відкладів і порід фундаменту через виділення перспективних ділянок покладів вуглеводнів, зокрема й у породах кристалічного фундаменту.

Ключові слова: нафтогазоносність, нафтогазоперспективні поклади, кристалічний фундамент, формування родовищ вуглеводнів, суперколектори, генезис вуглеводнів.

Energy independence is an important component of sustainable development and security of the state. Ukraine has a great hydrocarbon potential of the subsoil, which is why the priority objective is a search and exploration of new deposits of hydrocarbon raw materials. One of the important directions for increase of potential resources and reserves of oil and gas is the development of large deep (over 4500–5000 m) deposits, as hydrocarbon reserves at small and medium depths are quite depleted in many regions.

For a long time, hydrocarbon reservoirs in basement rocks were underestimated during geological exploration works. Obtained results indicate that new concepts of the formation of hydrocarbon deposits can dramatically change the system of oil production, methods of prospecting and development of deposits. It is important to assess possible oil-and-gas-bearing capacity of sediments and rocks of the basement by identifying prospective areas of hydrocarbon deposits, including in the rocks of the crystalline basement.

In Ukraine, main prospects of discovery of oil and gas deposits at great depths are associated nowadays with the Dnieper-Donets Rift (DDR). Deposits with accumulations of hydrocarbons at depths of more than 5000 m are concentrated in the main oil-and-gas-bearing areas of the Rift that coincide with the central paraxial and marginal zones of the graben. It was in the central segment of the DDR that the main regularities of oil-and-gas-bearing capacity of deep-lying geological formations were first discovered: secondary nature of reservoirs, discovery of the phenomenon of supercollectors and associated huge debits. It is relevant and promising to study the process of recovery / replenishment of gas reserves by the example of deposits that are at the final stage of development.

Keywords: oil and gas potential, oil and gas prospects, crystalline basement, formation of hydrocarbon deposits, supercollectors, genesis of hydrocarbons.

Вступ. У минулому нафтові й газові родовища в утвореннях фундаменту були відкриті здебільшого випадково. Традиційний спосіб мислення полягав у тому, що фундамент переважно щільний і не виправдовує витрат на вивчення [2].

Пошук вуглеводнів (ВВ) на великих глибинах непросте завдання, про що свідчить низька успішність пошуково-розвідувальних робіт, яка для більшості нафтогазоносних басейнів світу не перевищує 30 %, а в разі пошуку нафти у фундаменті – істотно нижча. Складність прогнозування покладів на великих глибинах полягає в тому, що в катагенетично-метаморфних породах низів осадового чохла й особливо в породах кристалічного фундаменту (КФ) майже немає витриманих по площі порових колекторів і відповідно обмежені умови для латеральної міграції ВВ. Тож можна вважати, що на великих глибинах моделі басейнової міграції під час прогнозування формування покладів ВВ є необґрунтованими. Виникла потреба нових теоретичних обґрунтувань пошуку покладів ВВ у кристалічних породах фундаменту [6].

Виклад основного матеріалу. Нині в нафтогазовій геології відбувається наукова революція. На зміну гостро конкурентним органічній і мінеральній гіпотезам походження нафти й газу приходить біосферна концепція нафтогазоутворення. Вона зараховує нафту й газ до корисних копалин планети, які поповнюються під час розробки родовищ, а самі родовища вважає пастками рухомого вуглецю, що циркулює через земну поверхню в трьох циклах кругообігу. До створення біосферної концепції суперечка між прихильниками органічної й мінеральної гіпотез стосувалася питання про те, який із двох геологічних циклів переважає в утворенні нафти й газу. Прихильники першої стверджували, що нафта й газ виникають у самих родовищах з органічної речовини, що надходить “зверху” – із земної поверхні. Тоді як прихильники другої наполягали, що газонафтові ВВ надходять у родовища “знизу” – з глибоких земних надр, де вони й утворюються. Учасні в нафтогазоутворенні біосферного циклу ніяк не передбачали. Але саме він відіграє головну роль у поповненні розроблюваних ВВ родовищ.

У біосферній концепції поняття “органічний і неорганічний вуглець”, “нафтогазовий потенціал надр”, “біогенний

і абіогенний генезис ВВ”, “осадовий чохол”, “кристалічний фундамент”, “глибинна дегазація”, “нафтоматеринські світи” або позбавлені фізичного сенсу, або не важливі. Так, очевидно, що в природі немає “органічного” і “неорганічного” вуглецю, а є просто вуглець, який у разі хімічних реакцій змінює свій ізотопний склад.

Відомий тільки один механізм, за якого донором водню у ВВ слугує вода, а донором вуглецю є органічна речовина, розчинена у воді, CO_2 і вуглецевмісні мінерали. Водночас підземні води розкладаються на кисень і водень. Саме цей процес створює дегазацію, а не надходження CH_4 , H_2 , CO_2 , N та ін. газів “каналами дегазації” з “глибоких надр” Землі.

За допомогою цієї гіпотези можливо пояснити майже всі нерозв’язані проблеми з нафти й газу [4]:

- суперечності між біогенною і абіогенною концепціями;
- поповнення запасів нафти у виснажених родовищах без наявності каналів;
- наявність слідів і запасів нафти в сланцях, магматичних породах;
- вік ВВ, наявність у нафті короткочасних ізотопів;
- відмітність ізотопного складу вод нафтових і газових родовищ від інших типів вод;
- відмітність ізотопного складу вуглецю болотного газу від вуглецю нафти (природного газу);
- вплив космічних чинників тощо.

Моделювання процесу поповнення запасів засвідчило, що інтенсифікація видобутку провокує зростання надходження нафти й газу, водночас спостерігається деякий період запізнення. Через це мають бути оптимальні темпи відбирання ресурсу на родовищі.

Отримані результати свідчать, по-перше, про те, що нові уявлення про формування родовищ ВВ можуть кардинально змінити систему нафтогазовидобування, методику пошуків і освоєння родовищ і, по-друге, про доцільність організації подальших теоретичних та експериментальних досліджень проблеми природного поповнення запасів родовищ ВВ спільно з компаніями-надрокористувачами й за активної та зацікавленої підтримки державних органів з вивчення та використання земних надр.

Під час визначення напрямів геологорозвідувальних робіт колектори ВВ у породах фундаменту часто недооцінювали. Однак у різних регіонах світу скупчення нафти й газу в

породах фундаменту відкриті й промислово розробляються.

Породи КФ мають великий вплив на якість колекторів нафти й газу в низці басейнів світу, включно з Азією (Індонезія, Китай, В’єтнам та Індія), Росією, Близьким Сходом (Ємен), Африкою (Алжир, Лівія і Єгипет), Південною Америкою (Венесуела й Бразилія), США (Каліфорнія й Канзас) і Північним морем (Велика Британія на захід від Шетландських островів і Норвегії) (рис. 1).

До теперішнього часу в утвореннях фундаменту у світі відкрито близько 500 родовищ нафти й газу, зокрема й великих і гігантських, як-от Білий Тигр (В’єтнам), Ауджа-Нафура (Лівія), Ля-Пас і Мара (Венесуела), Рамадан (Єгипет), Вільмінгтон (США) тощо, сумарні запаси яких перевищують 10 млрд тонн.

Вуглеводні акумулюються в інтрузивних, ефузивних, метаморфічних і катакlastичних породах фундаменту з вторинною пористістю. Катакlastити (пов’язані з розломами породи, які утворюються в разі слабких деформацій за високих значень тиску) мають високу вторинну пористість. Процес утворення катакlastитів відіграє важливу роль у тотальній вторинній пористості деформованих порід фундаменту. Наявність колекторів нафти й газу в метаморфічних і магматичних породах є загальновизнаним фактом; очевидно, настав час враховувати катакlastичні породи як колектори під час планування геологорозвідувальних робіт.

Найпродуктивніші нафтогазові родовища в утвореннях фундаменту розміщуються в дуже тріщинуватих породах. Найкращими типами порід є тріщинуваті кварцити або граніти, оскільки вони крихкі й оптимально руйнуються. Тріщинуваті гнейси є низькопродуктивними колекторами, бо можуть бути масивними, щільними або товстими з відкритими тріщинами, паралельними напрямку шарування. Породи, такі як гнейси й сланці, є пластичними з тенденцією “розмазуватися” та не руйнуватися під впливом тектонічного стресу. Філіти й тонкошаруваті сланці найменш привабливі, оскільки такі породи не є крихкими, вони шаруваті, пластичні й погано руйнуються. Вивітрілі гранітні породи фундаменту також можуть бути чудовими колекторами.

Основним джерелом ВВ у покладах фундаменту є органічна речовина (ОР) нафтоматеринських осадових товщ, що облягають виступи фундаменту. Це визнає більшість дослідників, які вивчають проблему ВВ скупчень у фундаменті [12].

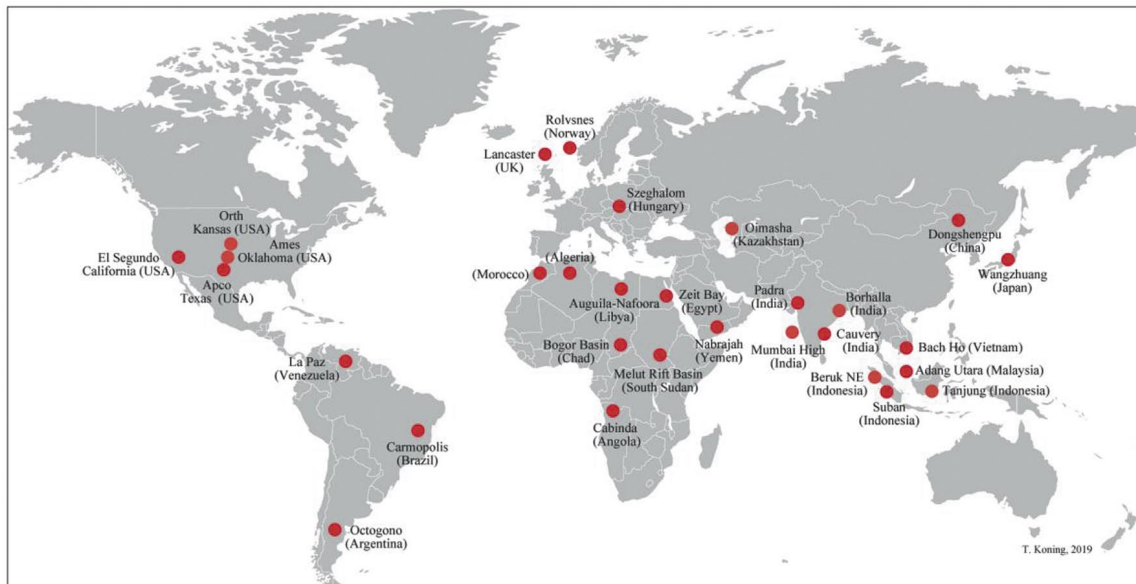


Рис. 1. Світовий розподіл родовищ нафти й газу в утвореннях фундаменту [5]

Саме тому геохімічні особливості флюїдів родовищ фундаменту підпорядковуються тим самим закономірностям, що й нафта, яка залягає в осадових товщах нафтогазоносного басейну й межує з фундаментом. В осадовому розрізі земної кори, згідно з вертикальною еволюційною зональністю утворення й перетворення ВВ, пов'язаною зі збільшенням глибини, температурного градієнта, тиску й типу вихідної органіки, відбувається трансформація складу генерованих у надрах ВВ систем – від важких до легких нафт і конденсатів.

Оскільки сьогодні Україна великою мірою залежить від імпорту енергоресурсів, насамперед природного газу, першочерговим завданням для нашої країни є пошук нових джерел енергетичного забезпечення. До цього спонукає також скорочення запасів нафти й газу з традиційних пластів на розроблюваних родовищах. І це, крім того, визначає потребу зміщення напрямів геофізичних робіт на підвищення ефективності досліджень унаслідок вибору раціонального підходу для вивчення складнобудованих і малорозмірних об'єктів та збільшення глибини досліджень.

Важливо провести оцінку можливої нафтогазоносності відкладів і порід фундаменту через виділення перспективних ділянок покладів ВВ, зокрема й у породах КФ.

Нафтогазоносність регіонів України зумовлена особливостями їхньої геологічної будови, геодинамічною еволюцією. Багато дослідників підтвердило також зв'язок між тектонікою літосферних плит і закономірностями розміщення родовищ ВВ. У різних регіонах було ратифіковано, що зони нафтогазонакопичення приурочені до глибинних розломів, найактивніших у сучасну епоху.

Оскільки геологічна будова території України (зокрема й Український щит (УЩ)) характеризується наявністю всіх основних типів геологічних структур континентального, а з огляду на природу Чорноморської западини якоюсь мірою й океанічного блоків, надра України характеризуються максимально можливими, що майже збігаються з відповідними глобальними характеристиками, стратиграфічними (докембрій-кайнозой), інформаційними, фазово-геохімічними діапазонами нафтогазоносності [10].

На території України основні перспективи відкриття покладів нафти й газу на великих глибинах сьогодні пов'язують з Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ).

Промислова продуктивність западини встановлена в широкому стратиграфічному діапазоні – від юрських до архейсько-протерозойських утворів (Кабишев, 2003). Всього в розрізі фанерозою виділено 99 продуктивних горизонтів з покладами ВВ. Розрізняють такі нафтогазоносні комплекси [14]:

а) мезозойський комплекс охоплює 11 покладів нафти й газу в товщах юри й тріасу; характеризується локальною нафтогазоносністю, підтвердженою для 9 родовищ із загальними запасами 1,5 % сумарних; практичне значення мав лише на початку освоєння регіону, подальше нарощування запасів нафти й газу з ним не пов'язують;

б) верхньокам'яновугільно-пермський комплекс містить 45 покладів у 26 родовищах; тут зосереджено 56,6 % розвіданих запасів газу і 38,7 % нафти; перспективи можна пов'язувати лише з приштоковими покладами (подібними до покладів Котлярівського родовища);

в) середньокам'яновугільний комплекс має 165 покладів (понад 5 % розвіданих запасів ВВ), тут прогнозують відкриття нових родовищ ВВ;

г) серпучівський комплекс зі 164 покладами у 68 родовищах (8,3 % розвіданих запасів);

д) верхньовізейський комплекс із 332 покладами у 119 родовищах (26,4 % розвіданих запасів ВВ) поширений регіонально; саме з ним пов'язана більшість відкритих покладів неантиклінального типу;

е) турнейсько-нижньовізейський комплекс із 83 покладами у 70 родовищах (9,4 % розвіданих запасів);

є) девонський комплекс має поклади промислового значення лише у 8 родовищах, де зосереджено менш як 1 % розвіданих запасів регіону.

Турнейсько-візейський нафтогазоносний комплекс представлений карбонатними відкладами, які є колектором для низки родовищ ДДЗ. У літературі ці карбонати відомі під назвою “візейська плита” та слугують об'єктом пошуків і розвідки ВВ. З'ясовано, що турнейсько-ранньовізейські рифи формують пояс, який простягається вздовж північного й південного бортів западини. Багато авторів зазначає, що розвитку цього рифового поясу сприяли регіональні розломи. Під час рифової стадії в девонський і ранньовізейський час ці розломи були каналами руху флюїдів, пришвидшували вулканічну активність і передавання теплоти (Clarke, 2002), а також були важливими в синеклізну стадію розвитку басейну, оскільки сприяли формуванню структури й розвитку зональності літофацій.

Турнейський карбонатний комплекс поширений у центральній і південно-східній частинах ДДЗ, його потужність змінюється від 40–50 до 400–500 м. Чимало дослідників вказує на відкриття покладів ВВ на великих глибинах у карбонатних відкладах. Clarke (2002) підкреслював, що на глибині понад 4 км тільки 18 % нафти міститься в уламкових колекторах, а 82 % – у карбонатах.

Очевидно, що на великих глибинах карбонатні колектори стають важливішими, бо внаслідок перебігу процесів розчинення й перекристалізації їхня пористість збільшується.

Уперше досліджувати перспективність глибоких горизонтів ДДЗ розпочали ще в середині 1960 років [1]. Практичні дослідження дали змогу зробити висновок щодо високих перспектив регіону на глибинах понад 5000 м, хоча в ті роки пошуки родовищ майже не виходили за межі 3500 м. Тоді ж зародилися ідеї неорганічного походження ВВ. Високу перспективність глибоких горизонтів ДДЗ підтверджують останні відкриття газоконденсатних покладів на глибинах понад 6000 м на Семиренківському й Комишнянському родовищах.

Колекторські властивості карбонатних відкладів ДДЗ змінюються в широких межах. Зокрема, тріщинуваті колектори рифових відкладів візейської плити Срібненської депресії мають пористість менш як 2,0 %, пористо-тріщинуваті колектори – менш як 3,0, тріщинувато-кавернозні – 2–22, пористо-тріщинувато-кавернозні – менш як 5,0 % (Kurovets, 2006).

Саме в центральному сегменті ДДЗ вперше виявлено основні закономірності нафтогазоносності глибокозалеглих геологічних формацій: вторинний характер колекторів, відкриття феномену суперколекторів і пов'язаних з ними величезних (понад 1–2 млн м³/добу газу) дебітів [9]. За даними комплексного вивчення деяких родовищ було з'ясовано, що глибокозалегли газоконденсатні родовища перебувають у процесі формування, до того ж такими темпами, які можна порівняти з темпами найінтенсивнішого видобутку (рис. 2).

Основна частина покладів ВВ у ДДЗ на глибинах понад 4–5 км приурочена до поліфаціальних піщаних порід нижнього карбону.

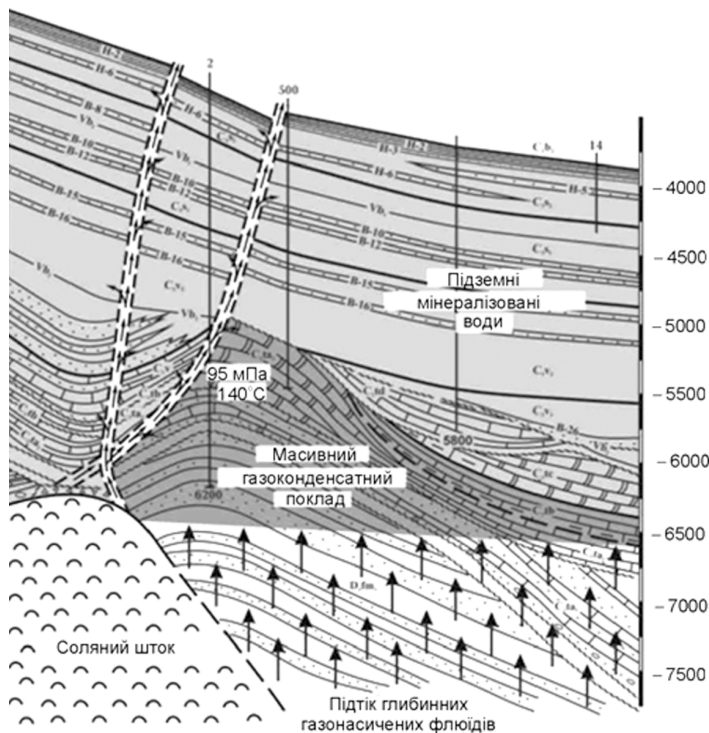


Рис. 2. Глибокозалеглий (понад 5 км) масивний газоконденсатний поклад у Дніпровсько-Донецькій западині в стані сучасного формування (принципова схема на прикладі деяких конкретних родовищ) (за О. Ю. Лукіним) [9]

З виявлених більш ніж 245 родовищ нафти й газу промислову нафтоносність підтверджено до глибини 5 100 м (Карайкозівське родовище), газоносність – до 6 300 м (Перевозівське родовище). Родовища зі зкупченнями ВВ на глибинах понад 5 000 м зосереджені в основних нафтогазоносних районах западини, що приурочені до центральної приосьової та крайових зон грабена.

Вдалим прикладом одночасного визначення промислової нафтогазоносності платформних відкладів та утворень фундаменту є Північний борт Дніпровсько-Донецького авлакогену (ДДА). Тут, у докембрійських кристалічних породах поклади нафти й газу відкрито на дев'яти родовищах [13].

На Північному борті ДДА Східноєвропейської платформи першу нафту одержано у свердловині № 1 в 1985 р. (69 м³/добу нафти й 99 тис. м³/добу газу на 12 мм штуцері з глибини 3200–3280 м) з утворень докембрійського КФ (гранітів) на Хухринській площі [3].

У 1987 р. на Північному борті відкрито велике Юліївське нафтогазоконденсатне родовище. Перший приплив дала свердловина № 2 – Юліївська, яку було обґрунтовано на пошуки в ній нафтогазоносних об'єктів у розрізі фундаменту (за даними геологічних досліджень свердловин (ГДС) продуктивних горизонтів в осадовому чохла в цій свердловині не було) [18]. Поверхню порід КФ у свердловині Юліївська-2 було розкрито на глибині 3464 м. З інтервалу 3636–3735 м (фільтр) і 3435–3800 м (відкритий стовбур) на 7 мм штуцері одержано 77 тис. м³/добу газу і 13,5 м³/добу конденсату, тобто продукцію одержано з глибини 172–336 м нижче від поверхні фундаменту. Під час випробування інтервалу 3468–3486 м (4–22 м від поверхні фундаменту) на 6 мм штуцері одержано 172 тис. м³/добу газу і 7,6 м³/добу конденсату. Абсолютно вільний дебіт газоконденсатної суміші з фундаменту становив 2768 тис. м³/добу.

Цими відкриттями було засвідчено наявність двох і більше продуктивних горизонтів у породах докембрійського КФ на Північному борті ДДА, представленому гранітами та іншими утвореннями. Свердловиною Юліївська-10 ці результати було підтверджено – породи фундаменту тут було розкрито на глибині 3541 м, з інтервалу 3618–3687 м одержано нафту дебітом 45 м³/добу, з інтервалу 3545–3560 м – газ дебітом 210,3 тис. м³/добу і конденсат дебітом 26 м³/добу.

Для розширення доказової бази пошуку продуктивних докембрійських пасток проаналізовано й систематизовано основні геологічні закономірності результативного випробування докембрію на Хухрянському, Юліївському й Коробчинському пошуково-розвідувальних полігонах, які були пілотними ділянками його вивчення. Основні ознаки будови полігонів і характерні параметри виявлених на них продуктивних резервуарів наведено в праці [8].

Хухрянський пошуково-розвідувальний полігон, де продуктивність докембрію виявлено на однойменній і Чернечинській площах. Докембрійське ложе полігону залягає на глибині до 4 100 м.

Юліївський пошуково-розвідувальний полігон. Основні припливи з КФ отримано на Юліївській, Сковорцівській і Наріжнській площах. Поклади ВВ приурочені переважно до прирозломних зон північних схилів горстових виступів кристалічного фундаменту (ВКФ). Сформовані вони тектонопарою, що складена прямим і зворотним скидами.

Коробочкинський пошуково-розвідувальний полігон. Максимальна глибина його занурення сягає позначки мінус 5000 м. Промислові припливи ВВ у докембрії отримано на Коробочкинській, Білозірській і Гашинівській площах.

Породи-колектори КФ, як правило, повністю чи частково змінені гідротермально-метасоматичними процесами. Розглянутий матеріал, безумовно, ще далекий до представницької статистичної виписки, тому неможливо зробити правильний висновок, який тип вуглеводневих флюїдів найпоширеніший у докембрії та з якими породами найчастіше пов'язана його нафтогазоносність [8].

Також уже не один рік тривають дискусії щодо відновлення й поповнення запасів вуглеводневих родовищ на завершальній стадії розробки.

Зокрема, аналіз розробки *Шебелинського газоконденсатного родовища* (рис. 3) засвідчив, що обводнення, просідання поверхні, пружність гірських порід, пластової води й газу не здатні великою мірою підтримувати пластовий тиск [15–17]. У відповідь на питання природи цього явища можна припустити, що на Шебелинському ГКР є інший чинник підтримування пластового тиску й ним може бути перетікання газу з глибоких горизонтів [15–17].

Одним з пояснень може бути як формування, так і можливість перетікання газу з глибоких горизонтів у розроблювані поклади. Автори показали, що міграція ВВ тектонічними порушеннями можлива як на стадії формування покладу, так і на стадії розробки [7]. Підтвердження цьому – наявність газоносних ущільнених колекторів (дані пробурених 11 глибоких свердловин), що свідчить про загазованість відкладів карбону по всій глибині без наявності надійних покривель (флюїдотривів). Зважаючи на широкую сітку диз'юнктивних дислокацій на Шебелинському родовищі, їхнє підтвердження глибоким бурінням, можна вважати, що тектонічні порушення – шляхи сучасної міграції ВВ до покладів світі мідиєстих пісковиків та араукаритової світи; до того ж пластовий тиск у них знизився до майже 2 МПа, а тиск на великих глибинах

сягає 30–50 МПа, що й зумовило можливість перетікання газу. Якщо оцінити баланс розподілу тиску газу з глибиною, то можна виявити його порушення внаслідок розробки родовища, оскільки утворилася гігантська міжпластова депресія, що й забезпечило посередництвом тектонічних порушень і дифузії передумови до перетікання газу в розроблювані поклади. Тобто спостерігається поновлення/поповнення запасів газу Шебелинського родовища.

У праці [11] обговорюється можливість “комбінованого” генезису ВВ, коли родовища з органічним походженням ВВ “підживлюються” глибинними флюїдами по зонах глибинних розломів як газопровідних каналах.

Визначення ефективності виявлення колекторів та оцінки їхньої нафтогазоносності за результатами ГДС у породах кристалічного фундаменту ДДЗ. Пошуковими й розвідувальними свердловинами в межах північного борту ДДЗ розкрито кристалічні породи різного по-

ходження й складу – граніти, гнейси, діорити, магматити, серпентиніти, діабазы, катаклазити, мілоніти та інші. У розрізах більшості свердловин встановлено наявність кори вивітрювання корінних порід з різною товщиною елювіальної частини.

Дотепер ще немає великої кількості напрацьованих даних для того, щоб зробити узагальнені висновки за результатами випробувань різноманітних порід фундаменту, але головні ознаки й особливості продуктивних об’єктів окреслюються досить чітко.

Кора вивітрювання в розрізах свердловин охоплює різний об’єм кристалічних порід і має неоднакову глибину навіть у межах однієї площі. У цій корі іноді спостерігається збільшення тріщинуватості й пористості знизу вгору, але частіше межа між елювієм і корінними породами нечітка. На діаграмах геофізичних методів видно поступовий перехід від однієї зони до іншої, що зумовлено різною інтенсив-

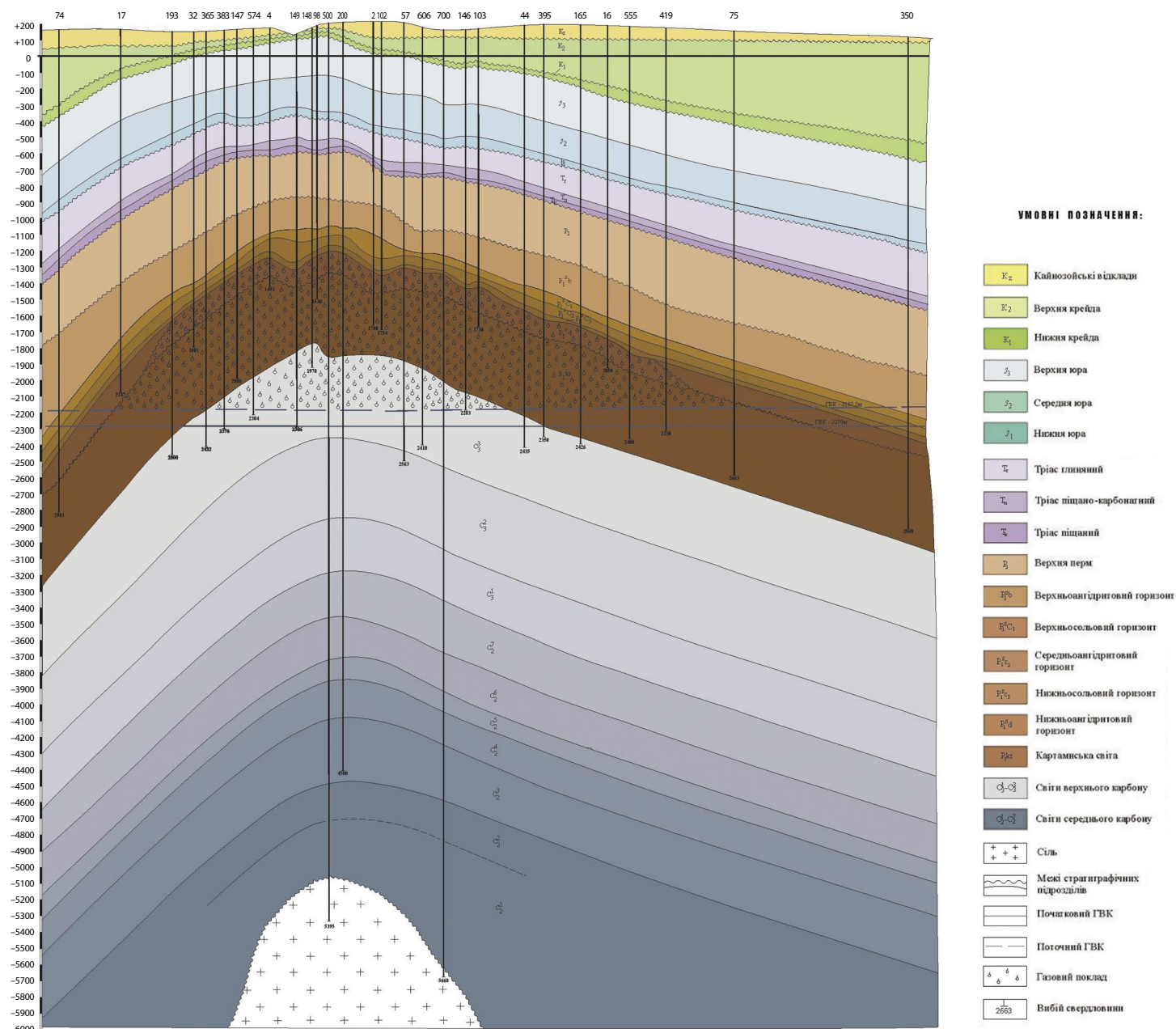


Рис. 3. Поперечний геологічний профіль Шебелинського родовища по лінії свердловин №74–350 [15]

ністю процесів вивітрювання в нижніх і верхніх частинах кори.

Очевидно, що виникнення найкращих уміщувальних властивостей порід потрібно очікувати насамперед у тих зонах кори вивітрювання, де процес вилугування розчинних продуктів відбувався найінтенсивніше, що за інших таких умов пов'язують з типом кристалічних порід, їхнім хімічним складом і будовою. Тому інтерпретуючи результати ГДС, потрібно знати, які саме гірські породи пройдені свердловиною в різних інтервалах розрізу. Це також важливо для виявлення зон тріщинуватості, оскільки досліджувані породи загалом неоднорідні, складені мінералами з неоднаковими коефіцієнтами пружності й розширення, що за відповідних умов призводить до утворення тріщин у кристалічних породах. Крім того, хімічний склад цих порід, як відомо, надзвичайно різноманітний і відповідно впливає на деякі вимірювання величин, особливо в разі радіоактивного й електричного методів дослідження свердловин.

Аналіз результатів ГДС у свердловинах центральної частини північного борту ДДЗ засвідчує, що для ефективного виявлення колекторів у кристалічних породах потрібний комплексний підхід. Якщо, наприклад, на діаграмах нейтронних методів окремі зони кристалічних порід вирізняються за ознаками колектора, то обов'язково в тих же інтервалах потрібно мати дані про їхню щільність за кривими гамма-гамма-щільнісного каротажу (ГГКщ), які залежать переважно від питомої ваги речовин, а не від їхнього хімічного складу. Це насамперед стосується магматичних масивів з підвищеним умістом слюд, які приурочені здебільшого до кислих інтрузивних порід і кристалічних сланців.

Через наявність у слюдах великої кількості водню (гідроксильні групи, молекули зв'язаної води), а в літєвих різновидах – домішок берилію, породи, що їх уміщують, часто мають чіткі мінімуми на діаграмах нейтронних методів, що в інших умовах слугує ознакою пористості (колектора). Водночас на діаграмі щільності порід (метод ГГКщ) проти таких мінімумів з'являється протилежна картина завдяки підвищеній питомій вазі слюд відносно середнього рівня цього параметра у вміщувальних породах.

Наведене вище стосується також і акустичного методу, на результати якого впливає листувата будова слюдистих порід, коли вони перебувають ще в консолідованому стані. Тому результати акустичного каротажу теж потрібно аналізувати одночасно з даними ГГКщ.

Найбільшою вірогідністю виявлення тріщинуватих зон у кристалічному фундаменті характеризується комплекс МБК-АК чи БК-АК. Інтервали залягання тріщинуватих порід на кривих мікробокового методу однозначно виявляються чітким зменшенням електричного опору стосовно щільного оточення. Дуже цінну інформацію про наявність тріщин і кути їхнього падіння в породах дають результати ширококутового акустичного каротажу (АКШ). Інтерпретація даних АКШ вказує на істотну чутливість поперечних хвиль до впливу тріщинуватості на час їхнього проходження й амплітудно-частотний спектр.

Що стосується кількісної оцінки ступеня нафтогазо-насиченості колекторів “кристалічного” походження, то його однозначного вирішення нині немає. Це пов'язано зі складною будовою самої кори вивітрювання, особливо її елювіальної частини. Для отримання відповідних залежностей між коефіцієнтом збільшення опору й коефіцієнтом нафтогазонасичення особливе значення має всебічне й

глибоке вивчення керна, підійнятого з різних зон кори вивітрювання, тому що за результатами геофізичних досліджень очевидна їхня індивідуальна характеристика. Особливо це помітно в зонах повної дезінтеграції корінних порід, де спостерігається аномальність геофізичних величин і параметрів. Прив'язування особливостей геофізичних характеристик до петрофізичного складу розкритих порід сприяє окресленню за даними ГДС розушлілених зон, визначенню коефіцієнтів пористості порід з достатньою точністю, обґрунтуванню нижньої межі колекторських властивостей у розушлілених породах.

Висновки. Наведені характерні результати випробувань перспективних об'єктів у породах КФ вказують на потребу проведення дослідних робіт для оцінки їхньої ефективної проникності за даними геофізичних методів, оскільки навіть у разі істотної пористості приплив часто немає. Потрібно визначити напрями, за якими чіткіше виявляються аналізовані зміни й скорелювати розрізи свердловин за площами, де отримано припливи ВВ з порід фундаменту.

Вивчення процесу відновлення/поповнення запасів газу на прикладі родовищ на завершальному етапі розробки є актуальним і перспективним та потребує докладних досліджень, а в подальшому – уточнення методів їхнього виявлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов И. Г., Бильк О. Д., Лукин А. Е. и др. О перспективах поисков нефти и газа в ДДВ на глубинах свыше 4000 м. // Геол. журн. – 1969. – № 4. – С. 29–38.
2. Баренбаум А. А. Научная революция в проблеме нефтегазообразования: “глубинная дегазация” и “углеводородный потенциал недр” в свете новых представлений // Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента: Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во “Ихлас”; 2019. – С. 33–36.
3. Гожик П. Ф., Чебаненко І. І., Краюшкін В. О. та ін. Нафтогазо-перспективні об'єкти України // Наукові і практичні основи пошуків вуглеводнів в Азовському морі. – Київ, 2006. – С. 183–204.
4. Иктисанов В. А. Причины восполнения запасов нефти и необходимость пересмотра перспектив длительно разрабатываемых месторождений // Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента: Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во “Ихлас”; 2019. – С. 51–53.
5. Кёнинг Т. Поисковые работы на нефть и газ в Азии и Африке в естественно-трещиноватых коллекторах фундамента: лучший мировой опыт и усвоенные уроки // Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента: Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во “Ихлас”; 2019. – С. 20–24.
6. Киреева Т. А. Гидрохимические критерии нефтеносности фундамента // Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента: Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во “Ихлас”; 2019. – С. 66–69.
7. Кривуля С. В. Особливості геологічної будови, наросування запасів та розробка великих родовищ у відкладах Р1–С3 в ДДЗ на прикладі Шебелинського газоконденсатного родовища // Вісник ХНУ. – 2012. – № 1033. – С. 15–82.
8. Лебідь В. П., Раковська О. Л. Аналіз нафтогазопроявів у докембрійському кристалічному фундаменті Дніпровсько-Донецького розсуду з метою прогнозу будови продуктивних пасток // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – № 2. – 2014. – С. 61–75.
9. Лукин А. Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине [Електронний ресурс] // Вісник Національної академії наук України. – 2014. – № 5. – С. 31–36.
10. Лукин О. Ю. Вуглеводневий потенціал надр України // Геол. журн. – 2008. – № 1. – С. 7–24.

11. Орлюк М. И., Пашкевич И. К. Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов//Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33. – № 6. – С. 136–151.

12. Пуанова С. А. Нефтегазоносность кристаллического фундамента и формирование в нем неструктурных ловушек комбинированного типа//Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента: Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во "Ихлас", 2019. – С. 90–94.

13. Рудько Г. І., Махамбетова М. С. Перспективи нафтогазоносності України на великих глибинах//Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної конференції (6–10 лист. 2017 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – Т. 2. – К.: ДКЗ, 2017. – С. 54–64.

14. Старосельський Є. М., Рудько Г. І. Закономірності формування та розподіл родовищ вуглеводнів. На прикладі вуглеводневого потенціалу палеозойських басейнів світу. – Київ: Чернівці: Видавничий дім "БУКРЕК", 2012. – 328 с.

15. Фесенко Ю. Л., Волосник Є. О., Фук І. М. Стан і перспективи розробки Шебелинського газоконденсатного родовища//Нафтова і газова промисловість. – 2009. – № 5–6. – С. 24–28.

16. Фук І. М., Фук І. М. Відновлення запасів газу Шебелинського газоконденсатного родовища – запорука довгострокової розробки//Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Шостої міжнародної науково-практичної конференції (7–11 жовтня 2019 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – Т. 1. – К.: ДКЗ, 2019. – С. 395–400.

17. Фук І. М., Фук М. І., Фук І. М. Шебелинське газоконденсатне родовище. Відновлення запасів чи обводнення?//Нафтогазова галузь України. – 2018. – № 6. – С. 3–10.

18. Чебаненко І. І., Краюшкин В. А., Клочко В. П. и др. Нефтегазоперспективные объекты Украины. Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов. – К.: Наукова думка, 2002. – 296 с.

REFERENCES

1. Baranov I. G., Bilyk O. D., Lukin A. E. On the prospects for oil and gas exploration in the DDR at depths of over 4,000 m//Geologicheskij zhurnal. – 1969. – № 4. – P. 29–38. (In Russian).

2. Barenbaum A. A. The scientific revolution in the problem of oil and gas formation: "deep degassing" and "hydrocarbon potential of the subsoil" in the light of new ideas// Uglevodorodnyj i mineralno-syrevoj potencial kristallicheskogo fundamenta: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kazan: Izd-vo "Ihlas", 2019. – P. 33–36. (In Russian).

3. Hozhyk P. F., Chebanenko I. I., Kraiushkin V. O. Oil-gas perspective of Ukraine// Naukovi i praktychni osnovy poshukiv vuhlevodniv v Azovskomu mori. – Kyiv, 2006. – P. 183–204. (In Ukrainian).

4. Iktisanov V. A. Reasons for replenishing oil reserves and the need to review the prospects for long-term development of fields//Uglevodorodnyj i mineralno-syrevoj potencial kristallicheskogo fundamenta: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kazan: Izd-vo "Ihlas", 2019. – P. 51–53. (In Russian).

5. Kjonig T. Oil and gas exploration in Asia and Africa in naturally fractured basement reservoirs: global best practices and lessons learned// Uglevodorodnyj i mineralno-syrevoj potencial kristallicheskogo fundamenta: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kazan: Izd-vo "Ihlas", 2019. – P. 20–24. (In Russian).

6. Kireeva T. A. Hydrochemical criteria for the oil content of the basement// Uglevodorodnyj i mineralno-syrevoj potencial kristallicheskogo fundamenta: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kazan: Izd-vo "Ihlas", 2019. – P. 66–69. (In Russian).

7. Kryvulia S. V. Peculiarities of geological structure, increase of reserves and development of large deposits in P1–C3 deposits in DDR on the example of Shebelinsky gas condensate field//Visnyk KhNU. – 2012. – № 1033. – P. 15–82. (In Ukrainian).

8. Lebid V. P., Rakovska O. L. Analysis of oil and gas manifestations in the Precambrian crystalline basement of the Dnieper-Donetsk landslide in order to predict the structure of productive traps//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2014. – № 2. – P. 61–75. (In Ukrainian).

9. Lukin A. E. The hydrocarbon potential of great depths and the prospects for its development in Ukraine//Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. – 2014. – № 5. – P. 31–36. (In Russian).

10. Lukin O. Yu. Hydrocarbon potential of the subsoil of Ukraine//Heolohichniy zhurnal. – 2008. – № 1. – P. 7–24. (In Ukrainian).

11. Orlyuk M. I., Pashkevich I. K. Magnetic characteristics and fault tectonics of the earth's crust of the Shebelin group of gas fields as an integral part of the complex search criteria for hydrocarbons//Geofizicheskij zhurnal. – 2011. – Vol. 33. – № 6. – P. 136–151. (In Russian).

12. Punanova S. A. The oil and gas potential of the crystalline basement and the formation of non-structural traps of a combined type in it//Uglevodorodnyj i mineralno-syrevoj potencial kristallicheskogo fundamenta: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kazan: Izd-vo "Ihlas", 2019. – P. 90–94. (In Russian).

13. Rudko G. I., Makhambetova M. S. Prospects for oil and gas in Ukraine at great depths//Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektyvy investuvannya. Materialy Chetvertoi mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (6–10 lyst. 2017 r., m. Truskavets). Derzhavna komisiia Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn (DKZ). – Vol. 2. – Kyiv: DKZ, 2017. – P. 54–64. (In Ukrainian).

14. Staroselskyi Ye. M., Rudko G. I. Concepts of formation and distribution of hydrocarbon fields (by the example of hydrocarbon potential of world Paleozoic basins). – Kyiv: Chernivtsi: Vydavnychiy dim "BUKREK", 2012. – 328 p. (In Ukrainian).

15. Fesenko Yu. L., Volosnyk Ye. O., Fyk I. M. Status and prospects of development of Shebelinsky gas condensate field//Naftova i hazova promyslovist. – 2009. – № 5–6. – P. 24–28. (In Ukrainian).

16. Fyk I. M., Fyk I. M. Restoration of gas reserves of the Shebelinsky gas condensate field is a guarantee of long-term development//Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektyvy investuvannya. Materialy Shostoї mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (7–11 zhovtnia 2019 r., m. Truskavets). Derzhavna komisiia Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn (DKZ). – Vol. 1. – Kyiv: DKZ, 2019. – P. 395–400. (In Ukrainian).

17. Fyk I. M., Fyk M. I., Fyk I. M. Shebelinskoe gas condensate field recovery or flooding?//Naftohazova haluz Ukrainy. – 2018. – № 6. – P. 3–10. (In Ukrainian).

18. Chebanenko I. I., Kraiushkin V. A., Klochko V. P. Oil and gas perspective objects of Ukraine. Oil and gas basement of sedimentary basins. – Kiev: Nauk, dumka, 2002. – 296 p. (In Russian).

Рукопис отримано 3.06.2020.



УДК 622.279.5

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.43-48>

О. В. БУРАЧОК, аспірант кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), старший інженер з розробки родовищ, Шлюмберже ГмбХ, Ганновер, Німеччина, oburachok@googlemail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9935-3970>,

Д. В. ПЕРШИН, старший науковий співробітник (Український науково-дослідний інститут природних газів), dmytro.pershyn@ndigas.com.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4342-4287>,

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

О. Р. КОНДРАТ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), kondrat@nung.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4406-3890>

О. BURACHOK, PhD student at the department of oil and gas fields development (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas), Senior Reservoir Engineer, Schlumberger GmbH, Hannover, Germany, oburachok@googlemail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9935-3970>,

D. PERSHYN, Senior researcher (Ukrainian Scientific-Research Institute of Natural Gases), Kharkiv, Ukraine, dmytro.pershyn@ndigas.com.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4342-4287>,

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), matkivskiy.sergey@ndigas.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4139-1381>,

O. KONDRAT, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Oil and Gas Reservoirs Development and Exploitation Chair (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas), kondrat@nung.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4406-3890>

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ PVT-МОДЕЛІ “ЧОРНОЇ НАФТИ” ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ ПОКЛАДІВ

EVALUATION OF BLACK-OIL PVT-MODEL APPLICABILITY FOR SIMULATION OF GAS-CONDENSATE RESERVOIRS

Створення геолого-технологічних моделей є потрібною умовою для ухвалення оптимальних рішень щодо аналізу поточного стану, проектування геолого-технологічних заходів і розрахунку прогностичних показників. У разі ізотермічного процесу для опису фазової поведінки та фазових перетворень використовують два основні способи: а) спрощена модель нелеткої нафти, так звана модель “чорної нафти” (ЧН), у якій кожна фаза – нафта, вода й газ представлена відповідним однойменним компонентом, а розв’язання рівнянь фільтрації ґрунтується на визначенні показників насичень і тисків за комірками чисельної моделі, а зміна властивостей пластових флюїдів задається в табличному вигляді як функція тиску; б) композиційна модель, у якій за допомогою рівняння стану фазова рівновага розраховується для вуглеводневих і неуглеводневих компонентів, а в процесі фільтраційних розрахунків, окрім насичень і тисків, нафтогазова суміш приводиться до фазової рівноваги і розраховується матеріальний баланс щодо кожного компонента в газовій і рідкій фазах. Для врахування леткості компонентів класичну модель ЧН удосконалено способом введення газомісту й кількості випаровуваної рідини, що дає змогу застосовувати її для більшості нафтогазових покладів, далеких від критичного стану, і в яких фазові перетворення в пласті не є такими істотними. Також через меншу кількість змінних, їхній чисельний розрахунок є простішим і набагато швидшим. Однак, зважаючи на важливість та актуальність проблеми збільшення видобутку українського газу та оптимізації розроблення газоконденсатних родовищ, постає питання можливості використання спрощеного описування поведінки фазових перетворень у газоконденсатних родовищах за допомогою PVT-моделі ЧН, що працюють на виснаження й визначення межі її застосування залежно від потенційного вмісту рідких вуглеводнів. У роботі виконано порівняльне дослідження показників розробки умовного покладу для синтетично-згенерованих пластових сумішей із різним потенційним вмістом C_{5+} , які представлено у вигляді графічних залежностей і таблиць. За результатами можна визначити межу застосування спрощеної PVT-моделі ЧН і потрібний момент переходу на композиційну модель для отримання точніших результатів розрахунків.

Ключові слова: PVT-модель, композиційна модель, модель “чорної нафти”, розробка газоконденсатних родовищ.

Creation of geological and simulation models is the necessary condition for decision making towards current development status, planning of well interventions, field development planning and forecasting. In case of isothermal process, for proper phase behavior and phase transitions two key approaches are used: a) simplified model of non-volatile oil, so called “black oil” model, in which each phase – oil, water and gas, are represented by respective component, and solution to flow equations is based on finding the saturations and pressures in each numerical cell, and change of reservoir fluid properties is defined in table form as a function of pressure; b) compositional model, in which based on equation of state, phase equilibrium is calculated for hydrocarbon and non-hydrocarbon components, and during flow calculations, apart from saturations and pressures, oil and gas mixture is brought to phase equilibrium, and material balance is calculated for each component in gas and liquid phase. To account for components volatility, the classic black oil model was improved by adding to the formulation gas solubility and vaporized oil content. This allows its application for the majority of oil and gas reservoirs, which are far from critical point and in which the phase transitions are insignificant. Due to smaller number of variables, numerical solution is simpler and faster. But, considering the importance and relevance of increasing the production of Ukrainian gas and optimization of gas-condensate fields development, the issue of simplified black oil PVT-model application for phase behavior characterization of gas-condensate reservoirs produced under natural depletion depending on the liquid hydrocarbon's potential yield. Comparative study results on evaluation of production performance of synthetic reservoir for different synthetically-generated reservoir fluids with different C_{5+} potential yield is provided as plots and tables. Based on the results the limit of simplified black oil PVT-model application and the moment of transition to compositional model for more precise results could be defined.

Keywords: PVT-model, compositional model, black oil model, gas-condensate reservoir development.

Вступ

Через складність фазових перетворень, які відбуваються під час розроблення газоконденсатних родовищ, постає потреба в їхньому детальному описі з використанням композиційної моделі на основі рівняння стану. Переважно через обмеженість розрахункових потужностей, що не дають змоги впродовж не тривалого часу отримувати результати розрахунків, потрібно зменшити кількість вуглеводневих компонентів до 6–8 з відповідним групуванням у псевдокомпоненти та паралельно збільшити розмір комірок для зменшення їхньої загальної кількості. Усе це негативно впливає на точність розрахунку через збільшення чисельної дисперсії. У разі коли пластова система перебуває за критичних тисків і температур або родовище планують розробляти із застосуванням сайклінг-процесу – використанням композиційної моделі є єдиним рішенням. Однак, що робити, коли газоконденсатне родовище розроблятимуть на виснаження чи з підтримкою пластового тиску з допомогою нагнітання води? Чи можемо ми в цьому разі використовувати спрощену PVT-модель, так звану модель “чорної нафти” (ЧН), у якій зміна фізико-хімічних властивостей нафти й газу задається в табличній формі залежно від тиску? Попри досить тривале застосування чисельного моделювання і його стрімкий розвиток з початку 2000-х років однозначної відповіді на ці питання досі немає. Так, розширення до класичної моделі ЧН дає змогу описувати рідку фазу, випарувану в газі. У симуляторі ECLIPSE компанії Schlumberger, який використано в цій роботі, це реалізовано за допомогою ключового слова PVTG. Якщо ми зможемо побудувати детальну композиційну PVT-модель, коректно відтворивши рівняння стану до лабораторних досліджень, і на її основі експортувати ключові слова для моделі ЧН, отримаємо змогу швидко та ефективно моделювати розробку газоконденсатних родовищ на виснаження або навіть з нагнітанням газу. Фактично PVT-таблиці створюватимуть за даними Constant Volume Depletion (CVD) експериментів (коли після збільшення об’єму бомби та випадіння рідкої фази газ стравлюють, повертаючи об’єм бомби до об’єму за тиску початку конденсації) або диференціального розгазування (коли до пластової суміші додають різну кількість газу нагнітання допоки не утвориться критична суміш) [2].

Особливої уваги варто надавати до розрахунку об’ємного коефіцієнта газу, густини газу й конденсату (нафти), визначених за стандартних умов. Додатково для мінімізації відмінностей між композиційною й розширеною моделлю ЧН швидкість розчинення (зміни газовмісту) у часі можна контролювати штучно визначеною верхньою межею. Вибір цієї межі ґрунтується на порівнянні й отриманні ідентичних результатів розрахунку на секторній моделі для обох PVT-моделей.

Загалом порівняльну характеристику рівнянь і методів їхнього розв’язання докладно описано в праці К. Коутса [3]. Щодо можливості використання моделі ЧН для газоконденсатних систем є досить обмежена кількість досліджень і публікацій. Так, О. Феванг зі співавторами, одним з яких був Куртіс Вітсон [5], дослідили можливість застосування моделі ЧН для розроблення покладів леткої нафти й газоконденсатних покладів. Згідно з їхніми висновками спрощений опис фазової поведінки в табличному вигляді за допомогою ключових слів моделі ЧН можна адекватно використовувати для моделювання розробки на виснаження. У разі нагнітання газу здебільшого бажано застосовувати композиційну модель, а модель ЧН – для нафтових покладів з низьким ступенем випаровування, а також для газоконденсатних покладів тільки в разі низького й середнього потенційного вмісту конденсату та тільки за пластових тисків

вище тиску початку конденсації. Водночас Б. Інзгец і М. Барруфет [7] зазначають, що не тільки в разі реалізації сайклінг-процесу, але й навіть під час розробки на виснаження модель ЧН має меншу здатність утримувати вуглеводні C_{5+} у газовій фазі, що призводить до більших втрат конденсату через ретроградну конденсацію, ніж передбачено композиційною моделлю.

З-поміж останніх робіт варта праця В. Делікадо [4], у якій автор порівнює результати гідродинамічних розрахунків для одного з південно-африканських газоконденсатних родовищ із вмістом вуглеводнів C_{5+} 690 г/м³ для різних сценаріїв розроблення: на виснаження, з підтриманням пластового тиску нагнітанням вуглеводневих газів за пластового тиску вище й нижче тиску початку конденсації. Він зазначає, що для порівняння результатів між двома різними підходами до PVT-моделей вирішальне значення має якість відтворення рівняння стану й коректність експортування ключових слів ЧН. У разі розроблення на виснаження та нагнітання газу за тиску вищого від початку конденсації відхилення результатів не перевищує 10 % і модель ЧН можна застосовувати. Варто зауважити, що автори цієї роботи вважають таке високе відхилення результатів неприйнятним для подібного висновку, а тому через неоднозначність висновків різних дослідників і відсутність чітких рекомендацій межі застосування на основі вмісту вуглеводнів C_{5+} у паровій фазі (у пластовому газі) ми виконали дослідження можливості використання моделі ЧН для чисельного моделювання розроблення газоконденсатних родовищ на виснаження на основі спрощеної PVT-моделі пластового флюїду.

Постановка проблеми та чисельного експерименту

Класичним підходом до дослідження процесів чи фізичних явищ у нафтогазових покладах є побудова прямокутних моделей покладів для чверті п’ятигочкової системи, коли по одній добувній і нагнітальній свердловині розміщено в протилежних кутах чисельної 3D-сітки. Такий підхід застосовано в класичних задачах SPE 3, 5, 6, де наведено порівняльні розрахунки між різними гідродинамічними симуляторами [8, 9, 6], його також використали Б. Інзгец і М. Барруфет у праці [7].

Автори вирішили відійти від простої моделі, а провести розрахунки на синтетичній, адаптованій до будови реального покладу, щоб наблизити результати до реальних умов. Приймемо, що поклад розробляється 15 добувними свердловинами (рис. 1) із груповим добовим відбиранням у 7 млн м³ газу та індивідуальним обмеженням у 500 тис. м³/добу на свердловину й робочим вибітним тиском у 4 МПа.

Синтетично створені компонентні склади пластової суміші підібрано способом зміни мольних часток і молекулярної маси компонентів так, щоб отримати потенційний вміст вуглеводнів C_{5+} від 50 до 500 г/м³ із кроком у 50 г/м³ (табл. 1). Композиційну

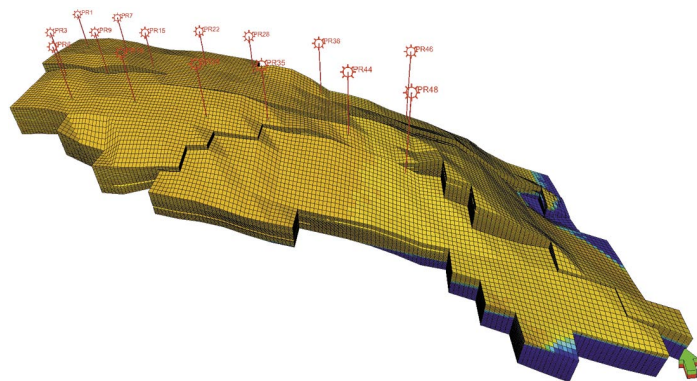


Рис. 1. Схема моделі покладу з розподілом водонасичення на початковий момент часу

модель описано трипараметричним рівнянням Пенга-Робінсона, на основі якого підібрано умови на двоступеневому сепараторі й вивантажені ключові слова моделі ЧН із забезпеченням потрібного заданого початкового потенційного вмісту.

Для систем із потенційним вмістом вуглеводнів C_{5+} у пластовому газі в 50 і 100 г/м³ початковий пластовий тиск у покладі приймаємо рівним 32 МПа, для решти – 40 МПа. Показники початкових тисків вибирали залежно від значень розрахункових тисків початку конденсації, які для перших двох систем становили 22,1 і 23,0 МПа, а для решти змінювались від 30 до 38 МПа. Зі збільшенням потенційного вмісту вуглеводнів C_{5+} у пластовому газі відбувається збільшення тиску початку конденсації, а також розширення фазової діаграми в напрямку збільшення крікондентерми (рис. 2).

Аналіз результатів

Ми порівнювали результати між композиційною та спрощеною PVT-моделлю ЧН за такими критеріями:

- дебіт газу;
- конденсатогазовий фактор;
- накопичений видобуток газу;
- накопичений видобуток конденсату;
- середньозважений пластовий тиск.

Результати розрахунків представлено на рис. 3 для кожного дослідженого значення потенційного вмісту. Червоні лінії відповідають дебіту й накопиченому видобутку газу, зелені – накопиченому видобутку конденсату й конденсатогазовому фактору, коричневі – середньозваженому пластовому тиску.

У табл. 2 зведене порівняння відхилень накопичених видобутків газу й конденсату, а також середньозважених пластових тисків для обох типів PVT-моделей.

Як видно з рис. 3, для всіх потенційних вмістів вуглеводнів C_{5+} PVT-модель ЧН передбачає вищий вміст вуглеводнів C_{5+} , ніж ком-

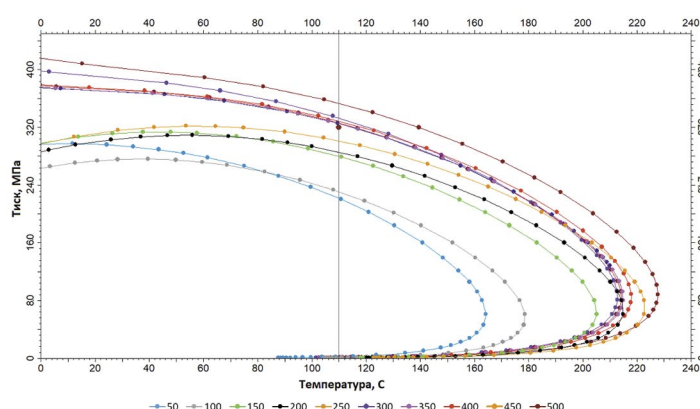


Рис. 2. Фазові діаграми досліджуваних синтетичних пластових вуглеводневих сумішей

позиційна, починаючи від тиску початку ретроградного випаровування. Для деяких потенційних вмістів різниця є більшою, для деяких – меншою й повною мірою залежить від якості налаштування рівняння стану та підібраних параметрів першого й другого ступеня сепаратора, що використовують для експорту ключових слів моделі ЧН. Водночас, порівнюючи накопичені видобутки (табл. 2), бачимо, що в разі низького потенційного вмісту (до 150 г/м³) модель ЧН забезпечує вищий накопичений видобуток газу й конденсату відповідно. Причиною цього є те, що внаслідок нижчого значення потенційного вмісту випадає менша кількість рідкої вуглеводневої фази, і через нижчий тиск початку конденсації поява рідкої фази в зоні дренування відбувається істотно пізніше, ніж у випадках з високим потенційним вмістом C_{5+} .

Починаючи від 250 г/м³, різниця в накопичених видобутках газу перевищує 0,5 %, а для вмісту вище 450 г/м³ – 1 %, що в абсолютних числах для цієї моделі становить близько 400 млн м³.

Таблиця 1. Компонентний склад синтетичних пластових вуглеводневих систем

Вуглеводневий компонент	Мольні частки (%) для моделей з потенційним вмістом вуглеводнів C_{5+} у пластовому газі, г/м ³									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
C_1	86,00	85,00	84,10	83,90	83,70	83,40	82,20	81,80	81,95	81,60
C_2	5,06	5,00	5,10	4,90	4,64	4,20	4,05	3,84	3,70	3,30
C_3	5,00	5,00	4,70	4,13	3,90	3,91	4,23	4,10	4,05	4,02
C_4	2,50	2,50	2,51	2,40	2,40	2,40	2,80	3,20	2,75	2,83
C_{5+}	1,15	1,50	2,40	2,68	2,70	3,30	3,80	4,05	4,20	4,42
C_{10+}	0,26	0,92	0,85	1,32	1,81	1,90	1,98	2,00	2,12	2,40
C_{15+}	0,03	0,08	0,34	0,67	0,85	0,89	0,94	1,01	1,23	1,43
Разом	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Тиск початку конденсації, МПа	22,1	23,0	28,0	28,6	30,1	33,3	34,2	35,0	35,3	38,0

Таблиця 2. Порівняння результатів розрахунків основних показників розроблення для композиційної моделі та моделі “чорної нафти” для різних рівнів потенційного вмісту вуглеводнів C_{5+} у пластовому газі

Потенційний вміст вуглеводнів C_{5+} , г/м ³	Накопичений видобуток газу, млрд м ³			Накопичений видобуток конденсату, млн м ³			Зважений пластовий тиск, МПа		
	ЧН	Композ.	Відносне, %	ЧН	Композ.	Відносне, %	ЧН	Композ.	Відносне, %
50	33,106	32,954	-0,461	1,859	1,843	-0,879	41,602	42,055	1,077
100	33,043	32,911	-0,403	3,416	3,392	-0,720	41,643	42,033	0,929
150	38,508	38,505	-0,008	5,357	5,332	-0,472	43,026	43,578	1,267
200	37,607	37,710	0,273	7,294	7,295	0,019	42,777	43,304	1,217
250	37,226	37,382	0,418	7,750	7,763	0,172	42,753	43,239	1,124
300	37,118	37,372	0,680	7,488	7,533	0,597	42,808	43,252	1,027
350	36,833	37,113	0,754	8,318	8,368	0,598	42,784	43,232	1,036
400	36,675	36,960	0,771	8,676	8,728	0,596	42,771	43,197	0,986
450	36,392	36,791	1,085	8,439	8,493	0,636	42,724	43,130	0,941
500	36,240	36,692	1,232	7,441	7,501	0,800	42,769	43,089	0,743

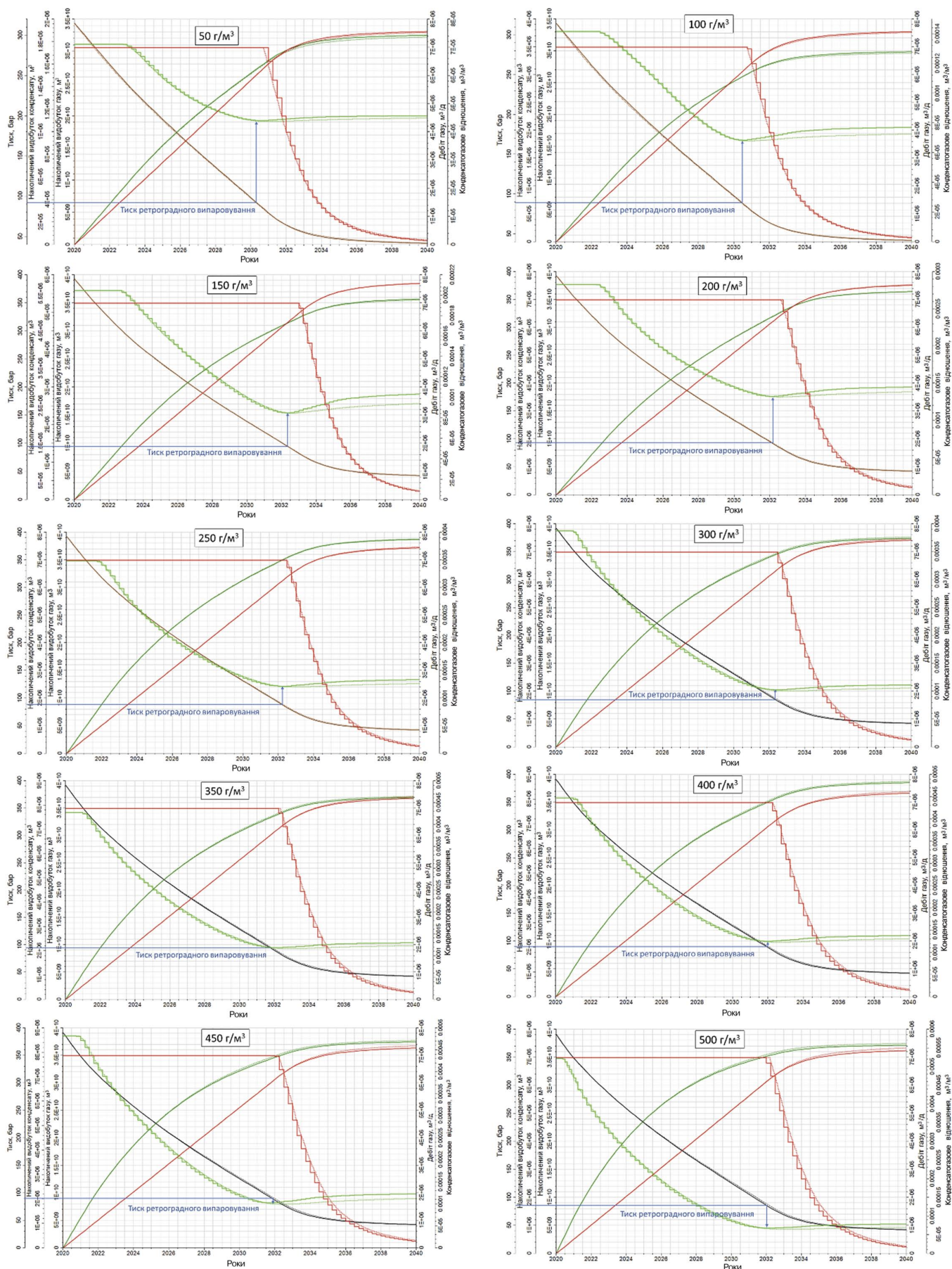


Рис. 3. Результати розрахунків основних показників розроблення покладу для PVT-моделей з різним потенційним вмістом вуглеводнів C_{Σ} (суцільні лінії – модель ЧН, пунктирні – композиційна модель, коричневі лінії – середньозважений пластовий тиск, червоні лінії відповідають дебіту й накопиченому видобутку газу, зелені – накопиченому видобутку конденсату й конденсатозагасному фактору)

Водночас для моделей з високим потенційним вмістом вуглеводнів C_{5+} видобуток за композиційною моделлю завжди перевищує 0,5 %. Після початку ретроградного випаровування за моделлю ЧН видобуток у всіх випадках є вищим за розрахунок за композиційною моделлю. Це пов'язано зі способом генерування PVT-таблиць моделі ЧН, який за низьких тисків передбачає вищий потенційний вміст конденсату в пластовому газі для тисків нижче від початку ретроградного випаровування (рис. 4). Це також добре видно з порівняння насиченостей рідкою вуглеводневою фазою для однієї з проперфорованих комірок чисельної моделі, де зелена лінія відповідає композиційній моделі, а жовта – моделі ЧН (рис. 5). Іншим суттєвим чинником, що впливає на істотні відхилення в розрахованих накопичених видобутках є двофазна фільтрація з моменту переведення свердловини з контролю за дебітом газу на контроль за постійним вибітним тиском. У розглянутих випадках поклад майже повністю виснажується із середньозваженим пластовим тиском за моделлю в 5 МПа, що створює мінімальну депресію в зонах дренавання свердловин на рівні 0,1 МПа. Композиційна модель коректно описує ретроградне випаровування, зменшуючи насичення рідкою фазою, нижче за критичне значення 0,18, чого не відбувається в моделі ЧН. Відповідно відносна фазова проникність газу є меншою через наявність двох рухомих фаз, тоді як у композиційній моделі рухома тільки одна газова фаза, що через підвищений вміст випарованих вуглеводнів забезпечує більші накопичені видобутки.

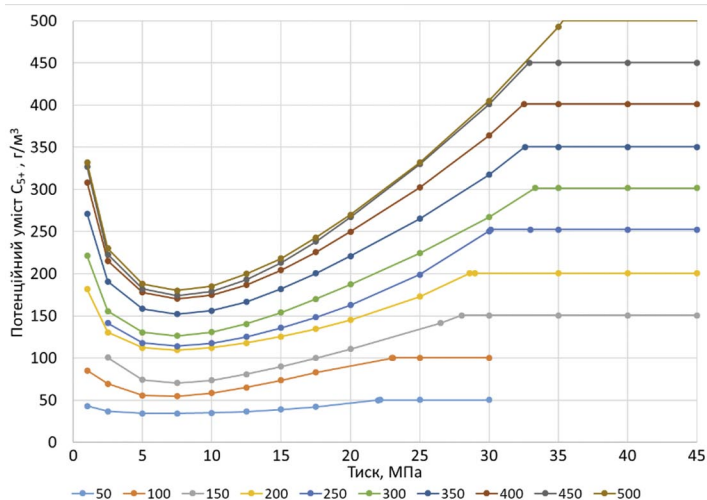


Рис. 4. Залежності зміни вмісту C_{5+} у досліджуваних пластових вуглеводневих системах за різного початкового потенційного вмісту

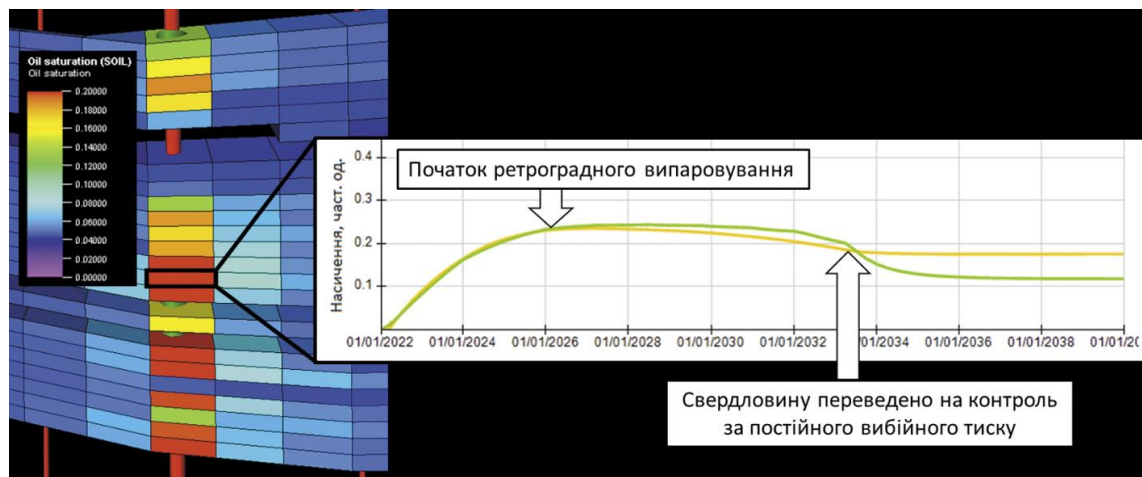


Рис. 5. Порівняння зміни насичення рідкою вуглеводневою фазою між композиційною (зелена лінія) і моделлю "чорної нафти" (жовта лінія) для початкового потенційного вмісту 250 г/м³

Зважаючи на вищезазначені відмінності в результатах, ми порівняли накопичені видобутки газу й конденсату від початку розроблення до моменту, коли в покладі починають відбуватися процеси з ретроградного випаровування. Зведені результати наведено в табл. 3.

Для всіх моделей відтворено збіг видобутку газу за конденсатом, починаючи зі 150 г/м³, видобуток у композиційній моделі перевищує видобуток, розрахований у моделі ЧН. Для моделей у 150 і 200 г/м³ отримано ідентичні результати. Для моделей до 400 г/м³ відносне відхилення результатів у межах 0,6 %, тоді як для моделей з високим потенційним вмістом понад 450 г/м³ відхилення становить менш як 1 %. Зважаючи на велику перевагу в часі розрахунку, модель ЧН у середньому в 6–7 разів швидше, ніж відповідна композиційна, тобто за аналогічний відтинок часу на виконання проєктних робіт, можна прорахувати в 6–7 разів більше різних варіантів, у процесі відтворення історії або виконання проєктних розрахунків, відхилення результатів у межах 1 % є цілком прийнятним для розв'язання поточних інженерних завдань.

Також варто зазначити, що для розв'язання матриці рівнянь між двома моделями використовували принципово різні методи. Для моделі ЧН застосовували повністю неявну схему, тоді як для композиційної використали адаптивно-неявну (задається за замовчуванням), коли частина комірок з мінімальними змінами тисків і насичень між двома послідовними часовими кроками розв'язується неявно, а решта – явно. Це так само вносить відмінності в результати, хоча й не такі суттєві, порівнюючи з налаштуванням умов роботи сепаратора та переконвертацією рівняння стану в ключові слова моделі ЧН під час їхнього експортування.

Висновки

У роботі виконано порівняння показників розробки уявного покладу з використанням синтетично згенерованих компонентних складів пластових сумішей з різним початковим потенційним вмістом вуглеводнів C_{5+} . За отриманими результатами зроблено такі основні висновки:

1. Для більшості використаних моделей отримано різницю в результатах між PVT-моделями ЧН і композиційної, точне відтворення результатів спостерігалось для потенційних вмістів 150 і 200 г/м³, для решти моделей з малим і середнім вмістом – у межах 0,6 %, для пластових систем з високим потенційним вмістом вуглеводнів C_{5+} відхилення зростає до 0,8 %. Подібні відхилення можна пов'язувати з такими чинниками, як методи чисельного розв'язання, реалізовані в різних симуляторах завдяки компілюванню різного програмно-

Таблиця 3. Порівняння накопиченого видобутку вуглеводнів до моменту початку ретроградного випаровування

Потенційний вміст вуглеводнів C_{5+} , г/м ³	Пластовий тиск, МПа	Накопичений видобуток газу, млрд м ³			Накопичений видобуток конденсату, млн м ³		
		ЧН	Композ.	Відносне, %	ЧН	Композ.	Відносне, %
50	7,8	28,109	28,072	-0,132	1,766	1,760	-0,341
100	7,7	28,095	28,069	-0,093	3,166	3,154	-0,380
150	11,0	29,393	29,393	0	3,489	3,492	0,086
200	10,0	30,681	30,681	0	3,559	3,560	0,028
250	8,0	32,582	32,590	0,025	6,261	6,301	0,635
300	8,6	31,318	31,318	0	6,874	6,915	0,593
350	9,5	30,037	30,037	0	7,487	7,533	0,611
400	9,0	30,681	30,681	0	7,897	7,944	0,592
450	9,0	30,037	30,037	0	7,738	7,801	0,808
500	8,5	30,681	30,681	0	7,042	7,102	0,845

го коду, збіжність результатів і метод чисельного розв'язання (у разі ЧН застосовували повністю неявну схему, тоді як для композиційної моделі за замовчуванням – адаптивно-неявну, коли частину комірок розв'язано неявно, а частину явно), налаштування умов сепаратора та переконвертація PVT-моделі в ключові слова ЧН.

2. Модель ЧН не здатна коректно відтворити процес ретроградного випаровування, бо призводить до більшого значення конденсатогозового фактора стосовно композиційної моделі, що узгоджується з висновками попередніх робіт інших авторів. Для розв'язання інженерних завдань і проведення прогнозних розрахунків застосування спрощеної PVT-моделі ЧН є цілком прийнятним, оскільки процес ретроградного випаровування починається за досить низьких пластових тисків.

3. Зважаючи на велику невизначеності під час побудови PVT-моделей, які виникають через брак та обмеженість потрібних вхідних даних, на яку автори акцентували увагу у своїй попередній праці [1], відхилення між двома формулюваннями, що описують PVT-властивості та фазові перетворення, становлять менш як 1 %. Таке відхилення цілком прийнятне для інженерних розрахунків, а зважаючи на значну перевагу у швидкості розрахунків моделі ЧН, що в 6–7 разів швидше за аналогічну композиційну модель, вважаємо за доцільне її використання для моделювання розроблення газоконденсатних родовищ на виснаження у разі, коли пластовий тиск є вищим за тиск максимальної конденсації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурачок О. В. Особливості відтворення рівняння стану газоконденсатних сумішей за умови обмеженої вхідної інформації // О. В. Бурачок, Д. В. Першин, С. В. Матківський, Є. С. Бікман, О. Р. Кондрат // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2020. – № 1 (74). – С. 82–88.
2. Ceragioli P. Gas Injection: Rigorous Black-Oil or Fast Compositional model? IPTC 12867 prepared for International Petroleum Technology Conference held in Kuala Lumpur, Malaysia, 3–5 December 2008.
3. Coats K. H., Thomas L. K., Pierson R. G. Compositional and Black Oil Reservoir Simulation. Prepared for presentation at the 13th SPE Symposium on Reservoir Simulation held in San Antonio, TX, U.S.A., 12–15 February 1995. SPE 2911.
4. Delicado V. E. A comparison of black-oil versus compositional simulation methods for evaluating a rich gas-condensate reservoir. A mini dissertation in Petroleum Geoscience (Reservoir Engineering). Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Masters in Science (MSc) of the Faculty of Sciences, University of the Western Cape, South Africa. December 2016. 110 p.
5. Fevang O., Singh K., Whitson C. H. Guidelines for Choosing Compositional and Black-Oil Models for Volatile Oil and Gas-Condensate Reservoirs. Presented at the 2000 SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Dallas, Texas, 1–4 October 2000. SPE 63087.
6. Firoozabadi A., Thomas L. K. Sixth SPE Comparative Solution Project: A Comparison of Dual-Porosity Simulators. Prepared for presentation at the SPE Symposium on Reservoir Simulation in Houston, TX, February 6–8, 1989. SPE 18741.

sentation at the SPE Symposium on Reservoir Simulation in Houston, TX, February 6–8, 1989. SPE 18741.

7. Inzgec B., Barrufet M. A. Performance Analysis of a Modified Black-Oil Model for a Rich Gas Condensate Reservoir. Presented at the Petroleum Society's 6th Canadian International Petroleum Conference (56th Annual Technical Meeting), Calgary, Alberta, Canada, June 7–9, 2005. PETSOC-2005-018.

8. Kenyon D. E., Alda Behie G. Third SPE Comparative Solution Project: Gas Cycling of Retrograde Condensate Reservoirs. Presented at the 1983 SPE Reservoir Simulation Symposium held in San Francisco, Nov. 15–18. SPE 12178.

9. Killough J. E., Kossack C. A. Fifth Comparative Solution Project: Evaluation of Miscible Flood Simulators. Prepared for presentation at the Ninth SPE Symposium on Reservoir Simulation held in San Antonio, Texas, February 1–4, 1987. SPE 16000.

REFERENCES

1. Burachok O. V., Pershyn D. V., Matkivskiy S. V., Bikman Ye. S., Kondrat O. R. Features of reproduction of the equation of state of gas-condensate mixtures with limited initial information // Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – 2020. – № 1 (74). – С. 82–88. (In Ukrainian).
2. Ceragioli P. Gas Injection: Rigorous Black-Oil or Fast Compositional model? IPTC 12867 prepared for International Petroleum Technology Conference held in Kuala Lumpur, Malaysia, 3–5 December 2008.
3. Coats K. H., Thomas L. K., Pierson R. G. Compositional and Black Oil Reservoir Simulation. Prepared for presentation at the 13th SPE Symposium on Reservoir Simulation held in San Antonio, TX, U.S.A., 12–15 February 1995. SPE 2911.
4. Delicado V. E. A comparison of black-oil versus compositional simulation methods for evaluating a rich gas-condensate reservoir. A mini dissertation in Petroleum Geoscience (Reservoir Engineering). Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Masters in Science (MSc) of the Faculty of Sciences, University of the Western Cape, South Africa. December 2016. 110 p.
5. Fevang O., Singh K., Whitson C. H. Guidelines for Choosing Compositional and Black-Oil Models for Volatile Oil and Gas-Condensate Reservoirs. Presented at the 2000 SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Dallas, Texas, 1–4 October 2000. SPE 63087.
6. Firoozabadi A., Thomas L. K. Sixth SPE Comparative Solution Project: A Comparison of Dual-Porosity Simulators. Prepared for presentation at the SPE Symposium on Reservoir Simulation in Houston, TX, February 6–8, 1989. SPE 18741.
7. Inzgec B., Barrufet M. A. Performance Analysis of a Modified Black-Oil Model for a Rich Gas Condensate Reservoir. Presented at the Petroleum Society's 6th Canadian International Petroleum Conference (56th Annual Technical Meeting), Calgary, Alberta, Canada, June 7–9, 2005. PETSOC-2005-018.
8. Kenyon D. E., Alda Behie G. Third SPE Comparative Solution Project: Gas Cycling of Retrograde Condensate Reservoirs. Presented at the 1983 SPE Reservoir Simulation Symposium held in San Francisco, Nov. 15–18. SPE 12178.
9. Killough J. E., Kossack C. A. Fifth Comparative Solution Project: Evaluation of Miscible Flood Simulators. Prepared for presentation at the Ninth SPE Symposium on Reservoir Simulation held in San Antonio, Texas, February 1–4, 1987. SPE 16000.

Рукопис отримано 11.06.2020.

УДК 504.064.3:665.663(477)

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.49-53>

О. М. ШПАК, канд. геол. наук, науковий співробітник (Інститут геологічних наук НАН України), Київ, shpak_lena@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7021-0842>,

Р. Б. ГАВРИЛЮК, канд. геол. наук, науковий співробітник (Інститут геологічних наук НАН України), Київ, gavrilyuk.ruslan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6465-9440>,

О. І. ЛОГВИНЕНКО, молодший науковий співробітник (Інститут геологічних наук НАН України), Київ, lohvyenko.olha@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>

О. SHPAK, PhD, scientific researcher (Institute of Geological Sciences of the NASU), Kyiv, shpak_lena@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7021-0842>,

R. HAVRYLYUK, PhD, scientific researcher (Institute of Geological Sciences of the NASU), Kyiv, gavrilyuk.ruslan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6465-9440>,

O. LOHUVYENKO, junior scientific researcher (Institute of Geological Sciences of the NASU), Kyiv, lohvyenko.olha@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА АВІАЦІЙНИМ ГАСОМ У РАЙОНІ АЕРОПОРТУ “БОРИСПІЛЬ” З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

RESEARCH OF SUBSURFACE CONTAMINATION WITH GASOLINE WITHIN BORYSPIL AIRPORT USING MATHEMATICAL MODELLING

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Забруднення геологічного середовища нафтопродуктами на території складу ПММ аеропорту “Бориспіль” (Київська обл.) у вигляді лінії авіаційного гасу вперше виявлено 1998 року. Попередні відновлювальні заходи не дали змоги повністю ліквідувати забруднення через те, що кількість ліквідаційних свердловин була недостатньою, щоб покрити всю територію забруднення, і відстані між свердловинами суттєво перевищували радіус впливу свердловин. Забруднення нафтопродуктами зберігається й загрожує довкіллю, що стало причиною проведення еколого-геологічних досліджень ІГН НАНУ. За даними моніторингу підтверджено наявність шару гасу майже в усіх ліквідаційних свердловинах. У ситуації, що склалася, треба вилучити мобільні нафтопродукти за допомогою відкачування.

Математично змодельовано роботу ліквідаційних свердловин на лінії гасу для визначення їхнього оптимального розміщення. Для розрахунків використано програмне забезпечення API LNAPL. У першому модельному експерименті задавали табличні значення α – параметра, що характеризує розмір пор, і β – параметра, що характеризує розподілення пор. Результати моделювання мали попередній характер, тож отримані відстані між свердловинами виявилися дещо завищеними. Для достовірніших результатів уточнено фільтраційні характеристики ґрунту завдяки проведенню лабораторних досліджень. Визначено залежності тиску від насиченості $p(\theta)$ для зразків ґрунту, відібраних на території аеропорту “Бориспіль”; і за допомогою програми RETC розраховано значення параметрів α і β . У другому модельному експерименті визначено оптимальні відстані між ліквідаційними свердловинами на ділянках із середньою потужністю авіаційного гасу 0,7 та 0,5 м.

Ключові слова: авіаційний гас, підземні води, математичне моделювання, ліквідаційні свердловини, забруднення геологічного середовища.

Subsurface contamination with gasoline has occurred within Boryspil airport (Kyiv region) for long period. Previous remedial actions including pumping of gasoline and contaminated groundwater have not provided to remove contamination completely. The monitoring data confirmed the presence of a gasoline layer in most monitoring wells. Using mathematical modelling, we imitated the operation of pumping wells to determine their optimal location. API LNAPL program was applied for calculations. In order to obtain more reliable results, soil hydraulic characteristics were specified by laboratory experiments. A pressure-saturation relation, $p(\theta)$ was determined for soil samples taken from Boryspil region, and then the values of α and β parameters describing pore size and distribution were calculated using RETC program. Optimal distances were calculated between pumping wells at two contaminated sites with a gasoline layer of 0,7 and 0,5 m, respectively.

Keywords: gasoline, groundwater, mathematical modeling, pumping wells, subsurface contamination.

Introduction

Environmental and geological research carried out by Groundwater Protection Department of the Institute of Geological Sciences of the NASU within airfield territories showed that, as a rule, the unsaturated soils and groundwater are contaminated with petroleum products [2, 10, 11, 13, 14]. Due to spills and leakages petroleum products enter the subsurface and reaching a water table form mobile lenses. During remedial actions it is the first priority to remove mobile petroleum products from aquifers to limit their migration in the subsurface [1, 9]. Mathematical modelling can also be used to design recovery systems [3, 17].

Subsurface contamination with gasoline has occurred within Boryspil airport (Kyiv region) for long period. Previous remedial actions including pumping of gasoline and contaminated groundwater have not provided to remove contamination completely. Sub-

surface contamination with gasoline continues and poses a threat to the environment, which caused the ecological and geological research conducted by Groundwater Protection Department. The monitoring data confirmed the presence of a gasoline layer in most monitoring wells. Using mathematical modelling, we imitated the operation of pumping wells to determine their optimal location.

This research was carried out in the frame of the budget theme “Scientific fundamentals of the liquidation of subsurface contamination with light petroleum products” and the contract for “Monitoring groundwater at the area contaminated with petroleum products within Boryspil airport” with LLC scientific production center INGEOCOM.

Ecological and geological research at the contaminated area Geological and hydrogeological conditions of the study area

In geomorphological aspect, the study area belongs to the second terrace above the flood plain of the Dnieper River. The relief of the area is flat with absolute elevation marks of 116–118 m.

The upper part of the geological section contaminated with petroleum products consists of the layered Quaternary sedimentary deposits that occur horizontally and are stratigraphically sustained by extension. The soil-vegetation layer is represented by recent eluvial formations (eIV), the thickness of which reaches 1,1 m. It is underlain by the upper Quaternary atmogenic and dealluvial deposits (vdIII) represented by loess-type pale yellow macroporous sandy loam with a thickness of 1,0–1,5 m. The Upper Quaternary alluvial deposits (aIII), the upper part of which is represented by sand and sandy loam up to a depth of 5,5–6,0 m, lie below. This layer is underlain by the Upper Quaternary alluvial sands of the second terrace above the flood plain of the Dnieper River (aIII) that are fine-grained yellow-gray, and clay iron water-saturated at the top of the layer. Within the scope of this study the sands were drilled to a depth of 0.8 m from their top but these sands are assumed to occur up to a depth of 50 m.

A groundwater aquifer is contained in alluvial sandy and sandy-loam deposits (aIII). Groundwater table depths are from 1,5 to 4,2 m. The recharge of the aquifer is due to the infiltration of precipitation as well as overflow from the underlying confined aquifers and river waters during the spring flood. The groundwater table declines in the east direction with a slope of 0,0018. The groundwater aquifer is not protected from entering contaminants from surface sources, an example of which is subsurface contamination with petroleum products due to the functioning of a fuel storage within Boryspil airport.

Background

Subsurface contamination with gasoline within Boryspil airport, Kyiv region was found in 1998. A source of contamination is a fuel storage. Due to leakages gasoline entered the unsaturated zone consisting of permeable loessial and alluvial sandy loam and sand. Then gasoline moved vertically and formed a lens on a groundwater table, the area of which was 4,2 hectares and a thickness reached up to 1,2 m. A total gasoline volume accumulated in the subsurface was 1 725 m³ [4]. Based on the results of exploratory works, urgent remedial actions were required to localize and remove contamination.

In 1999–2000 the project of gasoline recovery system was developed to avoid contamination spreading out of the fuel storage area. Within the framework of the project 42 pumping wells were

drilled, and about 30 000 m³ of contaminated water and 341 m³ of mobile gasoline were recovered and cleaned.

However, these remedial works did not provided to remove contamination completely. This is because a number of recovery wells was not sufficient to cover all contaminated area and distances between wells considerably exceeded a range radius of wells. Therefore, although remedial actions were realized, subsurface contamination with gasoline continues and poses a threat to the environment.

Recent field research

Groundwater protection department has carried out environmental and hydrogeological monitoring at the contaminated area (the region of Boryspil airport) since 2011. Monitoring wells drilled to a depth from 1 to 17 m upstream and perpendicularly to a groundwater flow provide to observe areal groundwater contamination. A stage sound system, which is unique in Ukraine, was installed to observe groundwater contamination to depth. Totally, four sounds were installed in saturated zone at different depth.

Monitoring works consist of:

- soil sampling to determine gasoline contents during well drilling;
- periodical measurements of groundwater and mobile gasoline levels in monitoring wells (once in a quarter) and measurements of a gasoline layer in pumping wells;
- groundwater sampling in monitoring wells, sounds and artesian wells to determine chemical water composition and dissolved hydrocarbon contents.

Today, the monitoring data have confirmed the presence of a gasoline layer in most monitoring wells. Figure 1 shows a lens of gasoline on a water table by monitoring data. In this situation, it is necessary to recover gasoline by pumping using mathematical modeling to determine optimal location of pumping wells within a gasoline lens.

Mathematical modelling of gasoline recovering

Theoretical study and methodology

Oil, water and air contents above the water table are calculated depending on a water table depth and an oil thickness in a well. Calculations are based on the theory of vertical equilibrium of oil thickness in an observation well with the environment [5, 7].

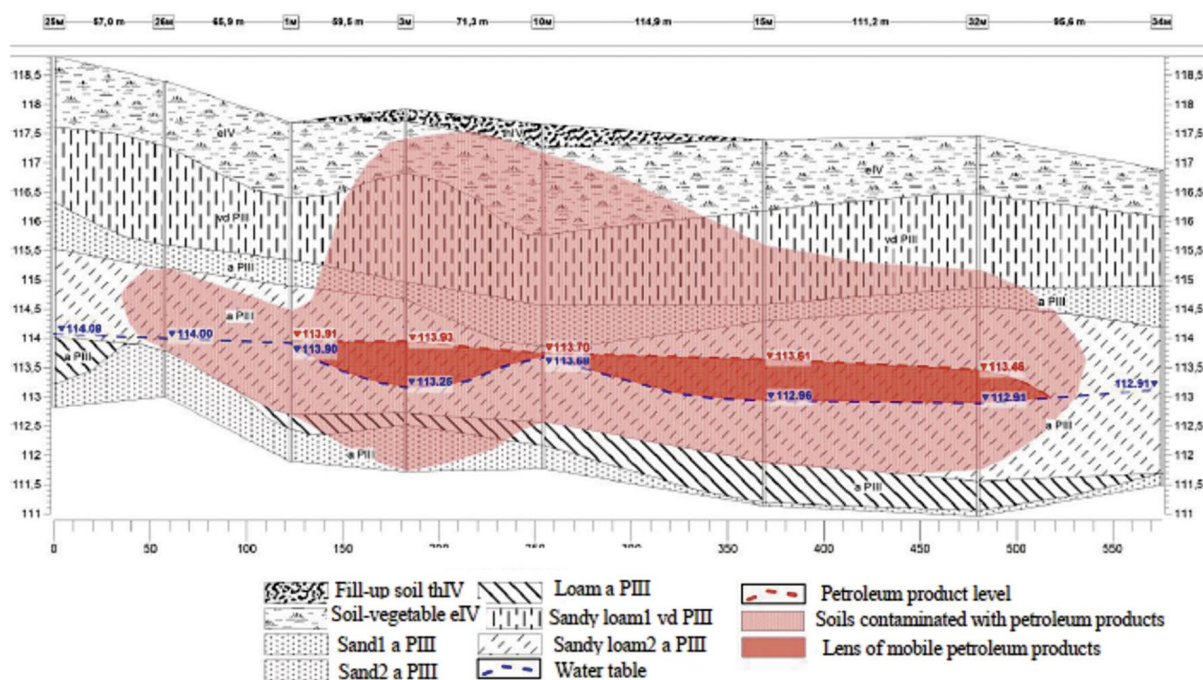


Fig. 1. Subsurface contamination with gasoline by monitoring data

Capillary head h_{ow} is calculated by a nominal design point position relative to “oil-water” level (Z_{ow}) and capillary head h_{ao} is relative to “air-oil” level (Z_{ao}) using the following equations:

$$h_{ow} = (1 - \rho_{ro})Z_{ow}; \quad h_{ao} = (1 - \rho_{ro})Z_{ao}, \quad (1)$$

where $\rho_{ro} = \rho_o / \rho_w$; ρ_o , ρ_w – oil and water densities.

Volume oil and water contents are calculated by capillary heads using van Genuchten function [15]:

1) effective water saturation (θ_w):

$$\bar{\theta}_w = \left[1 + (\alpha_{ow} h_{ow})^{n_{ow}} \right]^{-m}, \quad (2)$$

where α_{ow} , n_{ow} – parameters of $h_{ow}(\theta_w)$ relation; $m = 1 - 1/n_{ow}$;

2) volume water content (θ_w) is:

$$\theta_w = \bar{\theta}_w (\theta_s - \theta_{wr}) + \theta_{wr}, \quad (3)$$

where θ_s – total fluid saturation; θ_{wr} – irreducible saturation;

3) effective liquid saturation ($\bar{\theta}_{o+w}$):

$$\bar{\theta}_{o+w} = \left[1 + (\alpha_{ao} h_{ao})^{n_{ao}} \right]^{-m}, \quad (4)$$

where α_{ao} , n_{ao} – parameters of $h_{ao}(\theta_w)$ relation;

$$\theta_{o+w} = \bar{\theta}_{o+w} (\theta_s - \theta_{wr}) + \theta_{wr}. \quad (5)$$

In the saturation zone (within a mobile oil lens) $\theta_{o+w} = \theta_s$.

4) Within a mobile oil lens ($Z_{ao} - Z_{ow}$):

$$\theta_o = \theta_s - \theta_w. \quad (6)$$

5) In the capillary zone above “air-oil” interface (Z_{ao}):

$$\theta_o = \theta_{o+w} - \theta_w. \quad (7)$$

6) Oil volume along a vertical profile is:

$$V_o = \int_0^{\text{surf}} \theta_o dz. \quad (8)$$

Relative permeability (k_r), effective permeability (K_{eff}) and conductivity (T_{eff}) are calculated based on [8, 12]:

$$k_{ro} = (\bar{\theta}_o)^{0.5} \left[\left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m - \left(1 - \bar{\theta}_{o+w}^{1/m} \right)^m \right]; \quad (9)$$

$$k_{rw} = (\bar{\theta}_w)^{0.5} \left[1 - \left(1 - \bar{\theta}_w^{1/m} \right)^m \right]; \quad (10)$$

$$k_{ra} = (1 - \bar{\theta}_{o+w})^{0.5} \left(1 - \bar{\theta}_{o+w}^{1/m} \right)^{2m}; \quad (11)$$

$$K_{\text{eff}} = k_r K_i, \quad (12)$$

where K_i – hydraulic conductivity of fluid, i:

$$K_i = \frac{K \rho g}{\mu}, \quad (13)$$

where K – soil permeability; (μ – dynamic viscosity; g – gravitational acceleration).

$$T_{\text{eff}} = \frac{K \rho g}{\mu} \int_0^{z_0} k_{ro}. \quad (14)$$

Specific rates are calculated downstream fluid flow ($f = w, o, a$) according to Darcy's law:

$$q_f = \frac{k_{rf} K_{ij}}{\mu_f} \left[\frac{\partial P_f}{\partial x_i} + \rho_f g \frac{\partial z}{\partial x_j} \right], \quad (15)$$

where K_{ij} – tensor of soil permeability; P_f – fluid pressure.

The modified equations are used to calculate oil pumping in

different conditions [3]. The following equations are used to calculate simultaneous oil and water pumping:

$$Q_o = \frac{2 \rho_{ro} b_o k_{ro} Q_w}{\mu_{ro} b_w \left(1 + \sqrt{1 - \frac{Q_w}{\pi K_w b_w^2} \ln \frac{r_i}{r_w}} \right)}. \quad (1)$$

$$Q_w = \frac{(b_w^2 - h_{ow}^2) \pi K_w}{\ln \frac{r_i}{r_w}}, \quad (2)$$

where Q_o and Q_w – oil and water flow rates, m^3/day ; b_w – a distance from a filter bottom to a piezometric head, m ; h_{ow} – a distance from a filter bottom to an oil-water interface, m ; K_w – water hydraulic conductivity, m/day ; $\mu_{ro} = \mu_o / \mu_w$ (μ_o and μ_w – oil and water viscosity, cp ; r_i – a radius of influence, m ; r_w – a well radius, m .

The statement of computing experiments

Using mathematical modelling, we imitated the operation of wells pumping gasoline and water simultaneously. API LNAPL program [6] was applied for calculations.

A mobile oil lens on a water table consists of gasoline with a density of $0.815 \text{ g}/\text{cm}^3$, viscosity of 1.82 cp and surface tension $\sigma_{ao} = 27.4 \text{ dyne}/\text{cm}$ at oil-air interface and $\sigma_{ow} = 13 \text{ dyne}/\text{cm}$ at oil-water interface. Hydraulic conductivity of the aquifer was determined by the recovery of water and gasoline levels after pumping. According to the calculations, hydraulic conductivity for water (K_w) is $1 \text{ m}/\text{day}$. Porosity determined experimentally at the field scale is 0.44 .

At the map of groundwater contamination with gasoline within a fuel storage (Boryspil airport) two sites were distinguished where the thickness of a gasoline lens was the highest (see fig. 2):

1) in a southwestern part of the contaminated zone, dimensions of which were approximately $100 \times 100 \text{ m}$ and the thickness of a gasoline lens was 0.50 – 0.88 m , and

2) in a northeastern part of the contaminated zone, dimensions of which were approximately $200 \times 100 \text{ m}$ and the thickness of a gasoline lens was 0.40 – 0.65 m .

An averaged thickness of a gasoline lens was accepted to be 0.7 m at the first site and 0.5 m at the second site, respectively.

In the first computing experiment we imitated the operation of pumping wells located at a distance of 25 , 20 and 15 m from each other at both contaminated sites to determine optimal location of wells. Respectively, the fragments of sites, 50×50 , 40×40 and $30 \times 30 \text{ m}$ were examined. Typical values of α and β parameters were specified (α is a parameter describing a pore size and β is a parameter describing pore distribution). Therefore, the results of modeling can be considered as tentative and must be adjusted. The obtained distances between wells were rather longer than it is required.

In order to obtain more reliable results, soil hydraulic characteristics must be specified by laboratory experiments. We determined a pressure-saturation relation, $p(\theta)$ for soil samples taken from Boryspil region. Then α and β parameter values were calculated using RETC program [16].

In the second computing experiment the obtained α and β parameter values were used, which resulted in reduction of modeling distances between wells.

We imitated the operation of wells located at a distance of 20 , 15 and 12 m from each other at the site where a gasoline layer was 0.7 m , and at a distance of 15 , 12 and 10 m from each other at the site where a gasoline layer was 0.5 m . Table shows the results of the second modeling experiment.

* Subscripts indicate: “o” – oil, “w” – water; “a” – air.

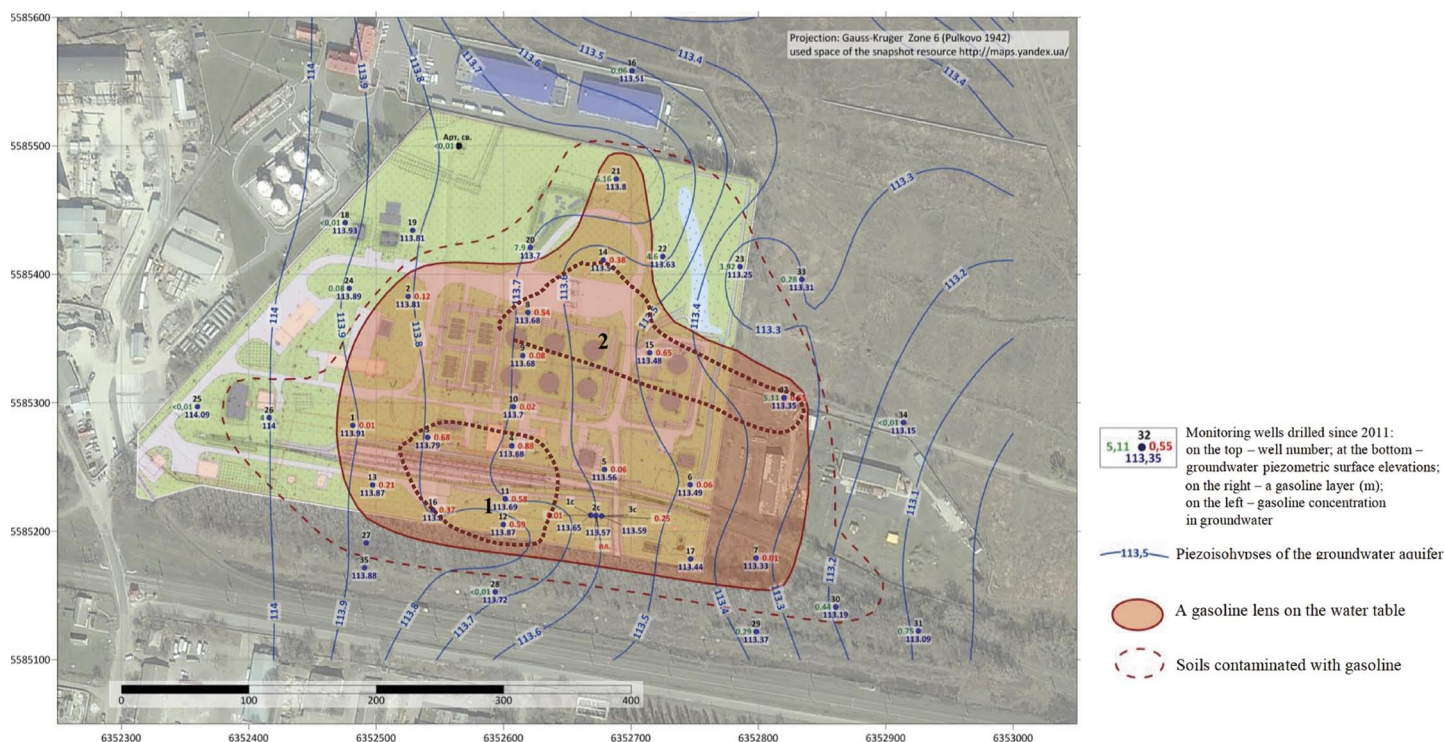


Figure 2. The map of groundwater contamination with gasoline within Borispil airport by monitoring data

The results of modelling showed that the effectiveness of the recovery well network depends on a maximal gasoline rate, a specific recovered gasoline volume, minimal residual gasoline volume, and time of pumping. Based on this, pumping wells should be located by 30×30 m grid at the site where a gasoline layer is 0,7 m, and by 24×24 m or 20×20 m grid at the site where a gasoline layer is 0,5 m.

This calculation procedure can be applied for other similar objects where unsaturated soils and groundwater are contaminated with petroleum products, and remedial actions, particularly, recovery of petroleum products by pumping are required.

Further research should include development of a two-layer (oil and water) model to imitate movement of a gasoline lens on a water table and gasoline recovery. This model supplemented with recent monitoring data will enable to estimate effectiveness of recovery wells and correctly plan remedial actions to prevent from spreading of a gasoline lens out of the fuel storage area.

Conclusion

Subsurface contamination with gasoline has occurred within the fuel storage of Boryspil airport since 1998. Previous remedial

works did not provided to remove contamination completely because a number of recovery wells was not sufficient to cover all contaminated area and distances between wells considerably exceeded a range radius of wells.

Ecological and geological research were carried out at the contaminated site. According to monitoring data, the presence of a gasoline layer is observed in most wells. It is necessary to recover gasoline by pumping using mathematical modelling to determine optimal location of pumping wells within a gasoline lens.

Using API LNAPL program, the operation of pumping wells was imitated at two contaminated sites with a gasoline layer of 0,7 and 0,5 m, respectively. In the first modeling experiment obtained distances between wells were rather longer than it is required and must be adjusted. In order to obtain more reliable results, soil hydraulic characteristics were specified by laboratory experiments. A pressure-saturation relation, $p(\theta)$ was determined for soil samples taken from Boryspil region, and then the values of α and β parameters describing pore size and distribution were calculated using RETC program.

Table. The results of modeling of the operation of pumping wells at two sites contaminated with gasoline

Gasoline layer, m	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5
Distance between wells, m	20	15	12	15	12	10
Site area, m	40×40	30×30	24×24	30×30	24×24	20×20
Initial gasoline volume, m ³	224	126	81	90	58	40
Time of pumping, years	8	5	3	5	3,5	2
Gasoline rate, m ³ /day	0,24–0,01	0,24–0,01	0,24–0,01	0,15–0,01	0,15–0,01	0,15–0,01
Total recovered gasoline volume, m ³	196	111	75	75	48	33
Specific recovered gasoline volume, m ³	0,12	0,127	0,13	0,07	0,083	0,083
Residual gasoline thickness, m	0,19	0,17	0,17	0,19	0,17	0,17
Residual gasoline volume, m ³	28	12	6	15	10	7
Residual gasoline volume per 1 m ² , m ³	0,017	0,001	0,001	0,017	0,017	0,017
A filter length, m (below a gasoline-water interface)	1,2 (0,5)	1,2 (0,5)	1,2 (0,5)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)
Water rate, m ³ /day	0,74	0,8	0,86	0,51	0,55	0,58

Note. Hydraulic conductivity, K is 1 m/day, total porosity is 0,44; residual water saturation is 0,24; field residual gasoline saturation is 0,2; $\alpha=4,3$; $\beta=1,206$, a well radius is 450 mm.

The results of modelling showed that the effectiveness of the recovery well network depends on a maximal gasoline rate, a specific recovered gasoline volume, minimal residual gasoline volume, and time of pumping. Based on this, pumping wells should be located by 30×30 m grid at the site where a gasoline layer is 0,7 m, and by 24×24 m or 20×20 m grid at the site where a gasoline layer is 0,5 m.

Further research should include development of two-layer (oil and water) model to imitate movement of a gasoline lens on a water table and gasoline recovery. This model supplemented with recent monitoring data will enable to estimate effectiveness of recovery wells and correctly plan remedial actions to prevent from spreading of a gasoline lens out of the fuel storage area.

REFERENCES

1. Blake S. B. and Lewis R. W., 1983. Underground oil recovery. *Ground Water Monit. Rev.*, 3(2): 40–46.
2. Briks A. L., Negoda Y. O., Shpak O. M., 2002. Using computer modelling for predictions of groundwater contamination with petroleum products in the area of Lutsk aerodrome and development of actions to localize contamination. *Proceedings of the 2-nd International Conference "IAP 2002"*, Miskolts, Hungary: 99.
3. Charbeneau R. J., Johns R. T., Lake L. W., McAdams M. J., 2000. Free Product Recovery of Petroleum Hydrocarbon Liquids. *Groundwater monitoring and remediation*, 20 (3): 147–158.
4. Gavriliuk R. B., Maksimov V. G., 2014. Subsurface contamination with hydrocarbon fuels due to airport operation (a case of Borispol airport) (in Ukrainian). *Problems of chemotology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuel and lubricants: materials of the V International Scientific and Technical Conference*, October 6–10, 2014. Kyiv, National Aviation University. – Kyiv: NAU: 149–153.
5. Farr A. M., Houghtalen R. J., McWhorter D. B., 1990. Volume estimation of light nonaqueous phase liquids in porous media. *Ground Water*, 28 (1): 48–56.
6. Huntley D. and Beckett G. D., 2002. Evaluating hydrocarbon removal from source zones and its effect on dissolved plume longevity and magnitude. *American Petroleum Institute*, publ. № 4715.
7. Lenhard R. J., Parker J. C., 1990. Estimation of free hydrocarbon volume from fluid levels in monitoring wells. *Groundwater*, 28 (1): 57–67.
8. Mualem Y. A., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12 (3): 513–522.
9. Newell C. J., Acree S. D., Ross R. R., Huling S. G., 1995. Light non-aqueous phase liquids. *EPA Ground Water Issue*. EPA 540-S-95-500.
10. Ognianik N. S., Paramonova N. K., Bricks A. L., Gavriliuk R. B., 2013. Environmental and hydrogeological monitoring of subsurface contamination with light petroleum products (in Russian). – K., LAT & K.
11. Ognianik N. S., Shpak E. N., Golub G. I., Negoda Y. A., Nasedkina O. I., 2002. Assessment of ecological and geological state of military airbase territory due to soil and groundwater contamination with petroleum products (in Russian). *Ecologya dovkillya ta bezpeka jittyediyalnosti*, 5-6: 71–76.
12. Parker J. C., 1989. Multiphase flow and transport in porous media//*Review of Geophysics*, 27 (3).
13. Shpak E., Ognianik N., Negoda Y., Golub G., 2003. Assessment of military airbase impact on the environment: *Proceedings of the 4th International Conference CERECO'2003*. Miskolc, Hungary: 366–369.
14. Shpak E. N., 2015. Research of biodegradation effect on groundwater contamination with petroleum products using mathematical modeling (in Russian). *Geological Journal*, 1: 99–106.
15. Van Genuchten M. T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of un-saturated soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 44 (5): 892–898.
16. Van Genuchten M. T., Leij F. J., Yates S. R., 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils, version 1.0 EPA Report 600/2-91/065, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.
17. Weaver J. W., Charbeneau R. J., Tauxe J. D., Lien B. K. and Provost J. B., 1994. The Hydrocarbon Spill Screening Model (HSSM), 1. User's Guide, EPA/600/R-94/039a, U.S. EPA, R.S. Kerr Environ. Res. Lab., Ada, OK.

Рукопис отримано 5.03.2020.

Світлої пам'яті

Анатолія Васильовича ЛУЩИКА

30 березня 2020 року відійшов у вічність видатний український гідрогеолог, доктор геолого-мінералогічних наук, професор Анатолій Васильович Лущик.

Анатолій Васильович народився 15 жовтня 1933 року в м. Новгороді-Сіверському Чернігівської області. Після закінчення 1962 року Дніпропетровського гірничого інституту працював у Забайкальському науково-дослідному інституті Міністерства геології СРСР у м. Читі (РФ).

Уся подальша трудова й наукова діяльність Анатолія Васильовича була пов'язана з Кримським півостровом. Упродовж 1965–1975 років він працював у Виробничому геологічному об'єднанні "Кримгеологія", а з 1975 року по 2012 рік – у Кримському відділенні Українського державного геологорозвідувального інституту (УкрДГРІ, до 1999 року – Інститут мінеральних ресурсів).

Наукова діяльність Анатолія Васильовича була пов'язана з надзвичайно актуальними для України, зокрема й для Криму, питаннями вивчення й прогнозування небезпечних геологічних процесів. Він обіймав посади завідувача лабораторії селей та інженерно-геологічних досліджень, завідувача лабораторії гідрогеодинаміки, завідувача відділу прогнозування геодинамічних процесів, головного наукового співробітника інституту.

Анатолій Васильович успішно поєднував роботу в УкрДГРІ з викладацькою діяльністю: був професором кафедри інженерної геології та безпеки життєдіяльності Національної академії природоохоронного й курортного будівництва, талановитим педагогом, який виховав не одне покоління інженерів і науковців.

Головними напрямками наукових інтересів А. В. Лущика були інженерна геологія, інженерна екологія, прогнозування виникнення та активізації сучасних небезпечних екзогенних геологічних процесів і обумовлених ними надзвичайних ситуацій, прогнозування підготовки землетрусів, пошуки і розвідка родовищ підземних вод. А. В. Лущик є автором понад 250 наукових публікацій, у т. ч. шість колективних монографій. Анатолій Васильович зробив вагомий внесок у розвиток екологічної геології України і плідно співпрацював з колегами-геологами в Словаччині та КНР.

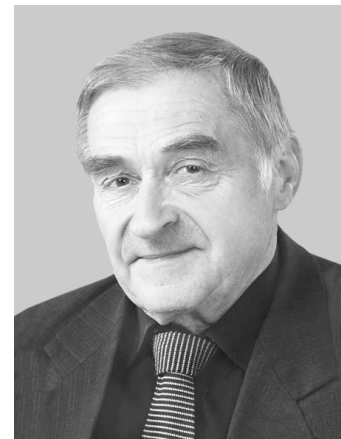
Наукова діяльність Анатолія Васильовича отримала високу оцінку геологічної та наукової спільноти ("Почесний розвідник надр" (1995 р.), медаль В. І. Лучицького (2003 р.), "Заслужений діяч науки і техніки Автономної Республіки Крим" (2006 р.), медаль Л. І. Лутугіна (2008 р.), Державна премія України у галузі науки і техніки (2010 р.).

Анатолій Васильович прожив життя гідно і чесно, залишивши по собі плоди своїх добрих і потрібних справ.

Ми пам'ятатимемо Анатолія Васильовича не лише як авторитетного вченого, а і як добру, життєрадісну людину, до якої завжди можна було звернутися за порадою. Його вирізняло поєднання високої інтелігентності, толерантності, доброзичливості, всебічності інтересів, любові до людей і рідної природи.

Світла пам'ять про Анатолія Васильовича Лущика, ученого й людину, назавжди залишиться в серцях усіх, хто його знав. Нехай Господь дарує Анатолію Васильовичу вічне життя в Царстві Небесному.

Друзі та колеги



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

ПЕРВООТКРЫВАТЕЛЬ УНИКАЛЬНОГО КАЙЕРКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ В НОРИЛЬСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ К 125-летию украинского геолога П. И. Савенко

В Украине и бывшем СССР имя репрессированного НКВД в 1937 году геолога Пантелеймона Ивановича Савенко (1895–1971 гг.) фактически никому не известно. Он не имел высоких научных званий, должностей и наград. Талантливый украинский геолог-самородок П. И. Савенко всего лишь был простым советским ЗЕКом. Он незаслуженно был осужден, но не был сломлен духом. Высокопрофессиональному и духовно одаренному геологу П. И. Савенко все же удалось вписать свою золотую страницу в летопись страны – за полярным кругом, в пределах платиноидно-медно-никелевых месторождений Норильского региона он открыл ряд угольных месторождений, а среди них – уникальное по запасам и качеству сырья Кайерканское месторождение, коксующиеся угли которого на долгие годы стали базовым сырьем для крупнейшего в стране Норильского промышленного комбината. Несомненно, трудился выдающийся исследователь не ради денег, почестей и славы, а только ради жизни на Земле.



Родился Пантелеймон Иванович Савенко 7 августа 1895 г. в многодетной семье хлеборобов в с. Саксагань, что раскинулось на берегах одноименной реки на живописном правобережном Приднепровье. После окончания начальной школы он поехал в г. Курск, где учился в техническом училище. Высшее образование юноша получил в Екатеринославском горном институте. После его окончания П. И. Савенко работал геологом в Криворожском геологоразведочном управлении, затем начальником геологоразведочной партии "Донуголь". С 1927 по 1937 г. П. И. Савенко – старший геолог Украинского районного геологоразведочного управления, которое в 1934 г. было реорганизовано в Укргеолтрест, а затем – вошло в систему Министерства геологии УССР.

В 30-е годы XX века горнорудная промышленность юга Украины бурно развивалась. В связи с этим П. И. Савенко интенсивно занимался исследованием огнеупорных глин, кварцевых песчаников, бурых и каменных углей. С начала 1926 года он работал в Гришинском районе Донбасса, в системе треста "Донуголь", где кроме обычной разведки на уголь в районе ст. Доброполье, вел работы по расширению площади угленосного карбона, скрытого под мощным покровом новейших отложений, от р. Гнилуши в направлении к верховьям р. Самары. В пределах Украинской части Донбасса это были первые шаги в расширении бассейна, т. е. решении проблемы, которая в дальнейшем именовалась проблемой Большого Донбасса.

В 1927 году П. И. Савенко занимался поисками огнеупорных глин в районе Н. Водолаги под Харьковом. В 1928 году особенно остро стоял вопрос с минеральной базой в динасовой промышленности. За короткий период П. И. Савенко провел исследования и разведку динасового сырья (кварцитов) и таким образом стал пионером в создании базы этого вида сырья. Первые в Украине, довольно большого объема, поисковые и разведочные работы под непосредственным руководством П. И. Савенко были выполнены в районе станций Ясиноватой и Авдеевки. Работами выявлены за-

пасы качественного сырья в количестве более 5 млн тонн. В 1929 году он производил поиски этого же сырья в Попаснянском районе Донбасса. Промышленных залежей третичных кремнистых песчаников здесь, однако, не обнаружено, но обнаружен в районе рудника "Карбонит" нацело окремнелый известняк карбона, содержащий SiO_2 – до 98% и таким образом пригодный для изготовления динаса. В следующие 1930–1935 годы для удовлетворения запасами кремнистых песчаников (кварцитов) все развивавшейся динасовой промышленности юга бывшего СССР поисковыми и разведкой были охвачены новые районы. Результаты этих работ изложены в составленной П. И. Савенко сводной работе *"Минеральная база динасовой промышленности Юга СССР"*, которая хранится в фондах Геолтреста.

В 1929 году, кроме работ по проблеме Большого Донбасса в верховьях р. Самары, П. И. Савенко велись работы на бурые угли. Непосредственно им производились поиски между с. Михайловкой и ст. Пятихатки и затем разведка Михайловского и Весело-Терновского месторождений бурого угля. В результате работ, как известно, создана надежная база бурых углей, пригодных как для топлива, так и для химической промышленности. Месторождений бурого угля третичного возраста при этом обнаружено так много, и они так кучно сконцентрированы, что это обстоятельство позволило геологу В. Т. Сябряку в своей сводной работе назвать позднее всю эту совокупность месторождений **Днепровским буроугольным бассейном**. К этому времени и сама проблема Большого Донбасса предстала уже в более ясном виде. Она заключалась в том, что то, что обычно называли Донбассом, является только открытой или видимой его частью, не прикрытой или же прикрытой маломощным слоем осадков. На западной окраине продолжавшимися геологическими работами в Украине был выявлен целый угленосный район, которому дано название **"Западный Донбасс"**.

Как следует из статьи профессора М. Н. Ключникова и геолога-производственника П. И. Савенко *"Достижения Украинской геологоразведочной службы к VII съезду Советов"*, опубликованной в 1935 г. в одном из ведущих научных жур-

налов “**Разведка недр**”, научная и производственная деятельность геологической службы Украины достигла значительных успехов в наращивании минерально-сырьевой базы. Геологи Укргеолтреста готовились также к XVII Международному геологическому конгрессу, который должен был состояться в августе 1937 г. в Москве. Однако четко отлаженный процесс производственной и научно-исследовательской работы Укргеолтреста, Института геологических наук Академии наук УССР и других геологических организаций страны в 1937 г. был парализован НКВД, в связи с массовыми необоснованными арестами самых лучших геологов.

Не минула стороной эта горькая доля и Пантелеймона Ивановича Савенко. Вместе с женой он был арестован НКВД в ночь на 12 июня 1937 г. на своей квартире в г. Киеве в соответствии с доносом двух своих подчиненных. П. И. Савенко отправили в начале на Кольский полуостров, затем на Соловки, а в 1939 году, как известного в стране специалиста по угольной геологии, этапировали до исправительно-трудовых лагерей г. Норильска (фото 1). Там, за полярным кругом, начался второй, весьма доленосный отрезок жизни украинского геолога-самородка.

Норильский район впервые рассматривается как “**особая металлогеническая провинция медно-никелевых руд**”; указывается на наличие двух крупных рудонесущих зон: Норильско-Тунгусской и Иманджинско-Норильской, к которым приурочены рудные месторождения.

Итак, плодотворная работа талантливого украинского геолога, узника ГУЛАГа П. И. Савенко способствовала открытию вблизи Норильска нескольких угольных месторождений. Наиболее значимым из них явилось Кайерканское месторождение каменного угля (фото 2). Это месторождение-гигант было открыто и разведано во время войны. Оно стало базовым для производства кокса для крупнейшего в стране Норильского медно-никелевого комбината. П. И. Савенко, совместно с Н. Н. Урванцевым и другими геологами, стал одним из первооткрывателей крупнейшего Кайерканского угольного месторождения.

Как свидетельствуют рукописные фондовые отчеты и научные статьи, украинский геолог П. И. Савенко в Заполярье исследовал остров Диксон, занимался изучением угольных месторождений вблизи Норильского горно-металлургического комбината. В Норильский рудный район, кроме угольных месторождений, здесь входят сульфидные плантиноидно-медно-никелевые месторождения (Но-



Фото 2. Кайерканский угольный разрез, Красноярский край

рильск-1, Талнахское, Октябрьское), а также месторождения графита, железных руд, нефти, газа и нерудных полезных ископаемых.

Норильский рудный район является частью самого крупного в мире Тунгусского бассейна-гиганта, где каменные и бурые угли выявлены в отложениях среднего и верхнего карбона, перми, юры и палеогена. Для сравнения приведем рейтинг угольных бассейнов мира по запасам угля: Тунгусский бассейн, Россия (запасы угля – 2,299 трлн тонн); Ленский бассейн, Россия (1,647 трлн тонн); Канско-Ачинский бассейн, Россия (638 млрд тонн); Кузбасс, Россия (635 млрд тонн); Иллинойский бассейн, США (365 млрд тонн); Рурский бассейн, Германия (287 млрд тонн); Аппалачский бассейн, США (284 млрд тонн); Печорский бассейн, Россия (265 млрд тонн); Таймырский бассейн, Россия (217 млрд тонн); Донбасс – Украина, РФ (141 млрд тонн).

В 1955 г. П. И. Савенко был реабилитирован и можно было бы благодарить судьбу. Однако неблагоприятные климатические условия Заполярья и тяжелые материально-жилищные условия к тому времени подорвали его здоровье. Там, на севере, он никогда не жаловался на свое здоровье, не обращался к врачам, хотя нередко болел. В частности, в 1955 г. он перенес инфаркт. Поэтому сразу после реабилитации П. И. Савенко, вместе с женой, вернулся в Киев. Больше он нигде не работал.

Его смерть явилась огромной утратой для украинской геологии и норильских геологов. В заключении подчеркнем, что чистое и незапятнанное имя незаслуженно осужденного украинского геолога-самородка П. И. Савенко навсегда сохранится в его научных статьях, раскрывающих различные проблемные вопросы геологии Украины, а также в далеком Заполярье, где в Государственном музее истории освоения и развития Норильского промышленного региона и Норильского геологического управления берегаются многочисленные материалы, свидетельствующие о первооткрывателе угольных месторождений северного региона. 31 марта 1990 г. “Заполярная газета” посвятила геологической деятельности П. И. Савенко очерк с поэтическим заголовком “*Не ради почестей и славы*”.

В очерке подчеркивается человечность, гуманность, исключительное трудолюбие Пантелеймона Ивановича и его огромный вклад в расширение энергетической базы одного из крупнейших промышленных регионов бывшего СССР, расположенных за Северным полярным кругом, где часто люди наблюдают прекрасные северные сияния.



Фото 1. Город Норильск, Красноярский край