

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ MINERAL RESOURCES of UKRAINE УКРАЇНИ



ISSN 1682-721X



9 771682 721002



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC JOURNAL

4'2021

СПІВЗАСНОВНИКИ / CO-FOUNDERS

Державне підприємство “Українська геологічна компанія” /
State Enterprise “Ukrainian Geological Company”;
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу / Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas

Зареєстровано в Державній реєстраційній службі України,
свідчення про державну реєстрацію
серія КВ № 24925-14865ПР від 2.08.2021 р.

Registered in the State Registration Service of Ukraine,
certificate of state registration
KB № 24925-14865PR dated 2.08.2021

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР / EDITOR-IN-CHIEF

Г. І. Рудько / H. Rudko

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ / EDITORIAL TEAM

М. Д. Красножон / M. Krasnozhan
(заст. головного редактора / Deputy editor)

І. Д. Багрій / I. Bahrii

(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, Г. А. Калашник / G. Kalashnyk,
М. М. Костенко / M. Kostenko, О. В. Кравченко /
O. Kravchenko, Е. Д. Кузьменко / E. Kuzmenko,
Я. Г. Лазарук / Ya. Lazaruk, А. А. Локтев / A. Loktiev,
Н. Г. Люта / N. Lyuta, О. І. Ляшенко / O. Liashenko,
В. А. Михайлов / V. Mykhailov, О. В. Плотніков /
O. Plotnikov, О. М. Пономаренко / O. Ponomarenko,
Б. І. Слободян / B. Slobodian, Р. І. Стефурак / R. Stefurak,
В. В. Сукач / V. Sukach, В. М. Хоменко / V. Khomenko,
М. М. Шаталов / M. Shatalov, С. О. Яковлев / Ye. Yakovlev

ІНОЗЕМНІ 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 УкрГРІ
протокол № 35 від 29.11.2021 р.

Видавництво ДП “УГК”, свідоцтво про державну
реєстрацію № 7469 серія ДК від 5.10.2021 р.
02088, м. Київ, пров. Геофізиків, 10

Publisher SE “UGC”, Certificate of state
registration № 7469 series DK dated October 5, 2021
02088, Kyiv, Neofizyky Lane, 10

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 ICV2020: 90.67. У 2019 р. журнал унесено
в базу DOAJ, у 2020 р. – в EBSCO.



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

© ДП “УГК”, 2021

ЗМІСТ / CONTENTS

Колонка головного редактора

Editor-in-chief's column

3

Сучасний підхід до надрокористування.

Кредо, за яким працює Держгеослужба

Modern approach to subsoil use.

Credo followed by the Ukrainian Geological Survey

4

СУКАЧ В. В., ІСАКОВ Л. В., БЕЗВИННИЙ В. П., ШПИЛЬЧАК В. О. /

SUKACH V., ISAKOV L., BEZVYNNYI V., SHPYLCHAK V.

Пошуки родовищ рідкісних металів

у Східноукраїнській пегматитовій області –

важливий складник геологорозвідувальних робіт в Україні

Prospecting of rare metals in the East-Ukrainian pegmatite province –

important part of geological exploration in Ukraine

6

КУРИЛО М. М., ВІРШИЛО І. В., КОШАРНА С. К. /

KURYLO M., VIRSHYLO I., KOSHARNA S.

Індекси доступності критичної мінеральної сировини

для “зеленої” енергетики

Accessibility of indices of critical mineral raw materials for green energy

16

КИРИЛЮК В. П., ЛИСАК А. М. / KYRYLYUK V., LYSSAK A.

Лейкогранулітова формація і зеленославідська світа побужського
гранулітового комплексу (західна частина Українського щита).

Стаття 1. Загальні відомості, склад, будова, стратиграфічне положення

The leucogranulite formation and zelenoslavidska suite of the Buh

area granulite complex (western part of the Ukrainian shield).

Article 1. General information, composition, structure, stratigraphic position

21

МАТКІВСЬКИЙ С. В., ХАЙДАРОВА Л. І. / MATKIVSKIY S., KHAIDAROVA L.

Дослідження впливу параметрів роботи електровідцентрових

насосів на продуктивність обводнених газових свердловин

Research of the influence of parameters of electric center pumps

on the productivity of water-cut gas wells

30

РУДЬКО Г. І., НЕЦЬКИЙ О. В., ЛИТВИНЮК С. Ф. /

RUDKO H., NETSKYI O., LYTVYNIUK S.

Науково-методичні і нормативні чинники актуалізації результатів

геолого-економічних оцінок родовищ корисних копалин

Scientific-methodical and regulatory factors updates of the results

of geological and economic evaluations of mineral deposits

36

ОРЛОВСЬКИЙ В. М., БІЛЕЦЬКИЙ В. С., МЕЛЕЖИК А. В. /

ORLOVSKIY V., BILETSKIY V., MELEZHUK A.

Моделювання тампонажного каменю на цементно-золярній основі

Simulation of cement-ash stone for wells

41

ШАТАЛОВ М. М. / SHATALOV M.

Основоположник металогенічної науки

(з нагоди 120-річчя Юрія Олександровича Білібіна)

Founder of metallogenic science

(on the 120th anniversary of Yu. O. Bilibin)

45

Шановні колеги!

Новорічні свята – це точка відліку для нових справ і починань, час добрих надій і радісних сподівань. Це час підбиття підсумків та осмислення минулого, час великих планів і нових ідей. А мрії і цілі – це те, що змушує нас рухатися вперед, не сумувати, долати труднощі. На цьому шляху не останнє значення має згуртованість колективу, що допомагає здобувати нові перемоги!

Нині триває спад темпів відтворення мінерально-сировинної бази, передусім через брак достатнього фінансування, що позначається на матеріально-технічному стані державних геологорозвідувальних підприємств.

Проте Україна була і є потужною добувною державою. З видобутком і використанням корисних копалин пов'язано близько половини промислового й експортного потенціалу України та до 20 % її трудових ресурсів.

У зазначених умовах першочерговим завданням геологічної галузі є відкриття нових родовищ України з підтвердженням промисловим потенціалом (вуглеводнів, благородних металів, кольорових і рідкісних металів, будівельної сировини тощо), експлуатація яких здатна активізувати економіку України, підняти геологічну галузь на новий рівень поступу. Для цього треба розглянути можливості залучення вітчизняних та іноземних інвесторів у розроблення українських надр.

Метою розвитку геологічної галузі є перехід на принципи сталого розвитку, впровадження найвищих наукових досягнень у геологічне вивчення та раціональне використання надр, забезпечення економіки країни мінеральною сировиною і збереження здорового довкілля. Діяльність геологічних підприємств має відповідати пріоритетам державної політики та ґрунтуватися на найкращих наукових доробках.

Геологічна галузь має перейти на європейські принципи управління. Сьогодні система надрокористування в Україні потребує вдосконалення, зважаючи на досвід іноземних країн. Дуже важливо впровадити прозорі та зрозумілі правила користування надрами з огляду на інтереси держави, місцевих громад, інвесторів. Усі надрокористувачі мають працювати в рівних умовах, без вибіркових привілеїв і преференцій, що є важливим індикатором прозорості ринку.

Журнал **“Мінеральні ресурси України”** – це видавництво з багаторічним досвідом, професіонали якого гарантують високу якість послуг для науковців, фахівців гірничої галузі та потенційних інвесторів. Наша діяльність покликана популяризувати науково-дослідні здобутки, активізувати широкий обмін думками з актуальних проблем геології, зокрема в контексті викликів сучасного світу.

Всі авторські статті переглядають незалежні експерти в галузях, близьких до тематики статей. Такий механізм дає змогу публікувати наукові тексти, позбавлені методологічних помилок і невірної інформації.

Ви чудово попрацювали в цьому році, втілили безліч планів і прекрасних ідей, збагатили знання, вдосконалили професійні навички та вміння, отримали чимало яскравих вражень і, сподіваємося, наблизилися до здійснення заповітних бажань.

Яким буде наступний наш професійний рік – залежить від кожного з нас. Тож насамперед побажаю всім віри в себе та власні сили, свій професіоналізм і неоціненний досвід. Нехай Новий рік стане для вас роком реалізації себе, своїх талантів і здібностей, сміливих рішень, відкриття нових горизонтів та досягнення нових вершин.

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

Г. І. РУДЬКО



РОМАН ОПІМАХ

Голова Державної служби
геології та надр УкраїниНова Держгеослужба:
сучасний підхід до
надрокористування

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО НАДРОКОРИСТУВАННЯ. КРЕДО, ЗА ЯКИМ ПРАЦЮЄ ДЕРЖГЕОСЛУЖБА

Для роботи Державної служби геології та надр України 2021 рік видався насиченим і продуктивним. Повноцінній реалізації планів сприяла системна робота за трьома генеральними пріоритетами: становлення сервісної установи, залучення інвестицій та ефективне надрокористування.

Першим і ключовим пріоритетом у роботі є **становлення Служби як сервісної установи**. Її ознакою є використання зручних і сучасних методів роботи, які на інституційному рівні мають назавжди нівелювати суб'єктивізм і вибірковість в ухваленні рішень. У взаємодії із сервісною установою можна виокремити три етапи: аналіз геологічної інформації для ухвалення інвестиційного рішення, отримання спецдозволу та операційна щоденна робота з надрокористувачем щодо виходу на ринок.

Ми створили інтерактивний **Державний геологічний портал** – вебресурс, на якому зібрали всю інформацію про спецдозволи на користування надрами, контури родовищ і рудопрояви, заяви на отримання ліцензій, реєстри нафтових і артезіанських свердловин, протоколи затвердження запасів, газотранспортну інфраструктуру та сейсмічні профілі, шари адміністративного й кадастрового поділу, межі природно-заповідного фонду, водо-

забори підземних вод тощо. Розмістили каталог відомостей про геологічну інформацію, оприлюднили 15 тисяч книг геологічних звітів.

Нам вдалося повернути довіру до регулятора. Адже проведення прозорих аукціонів усуває суб'єктивний чинник та не створює ґрунту для можливих спекуляцій. Застосування механізму електронних торгів робить галузь відкритою для всіх, а не для обраних. Це наочно демонструють результати **онлайн-аукціонів** з продажу спецдозволів на користування надрами. Починаючи з 2019 року всі ліцензії на нові площі корисних копалин загальнодержавного значення видавали лише за результатами відкритих електронних торгів. Такий підхід дав змогу залучити до держбюджету понад 800 мільйонів гривень упродовж 2020 року. У 2021 році продано 186 лотів за 1,04 мільярда гривень. Загалом Служба надала рекордну кількість спеціальних дозволів на користування надрами – 377.

Державна служба геології та надр України **розгортає Електронний кабінет надрокористувача**. Сервіс передбачає для заявників можливість подання документів в електронній формі для отримання, продовження строку дії, переоформлення, внесення змін

до спеціального дозволу, а також електронної взаємодії між фізичними та юридичними особами, фізичними особами-підприємцями, органами державної влади, органами місцевого самоврядування під час опрацювання таких документів.

Натепер суб'єкти господарювання самостійно вносять дані до Державного реєстру артезіанських свердловин через сервіс е-кабінету за допомогою електронного цифрового підпису засобами інтегрованої системи електронної ідентифікації id.gov.ua (ICEI).

Е-кабінет надрокористувача передбачає просунуту ГІС-систему, що дає змогу створювати каталог координат ділянки надр чи водозабірних споруд з огляду на контури заліцензованих об'єктів на користування надрами, подані заяви про надання спецдозволу та зони природно-заповідного фонду. Можливість перевірення створеного об'єкта на перетин з іншими й функція узгодження контуру в результаті дають змогу уникнути повернення документів через наявність перетину із зазначеними шарами. До впровадження готуються сервіси електронного подання звітності щодо обліку запасів корисних копалин (форми 5-ГР, 6-ГР, 7-ГР), державної реєстрації робіт і досліджень, пов'язаних з геологічним вивченням надр (форма 3-ГР), подання відомостей до реєстру нафтогазових свердловин тощо.

Його робота забезпечить пришвидшення проходження погоджувальних процедур, підвищить зручність взаємодії надрокористувачів з державою, зменшить кількість відмов з формальних підстав.

Другим пріоритетом є **залучення інвестицій**. Держгеонадра створюють інвестиційні можливості в регіонах. Щоб поінформувати громади краю про мінерально-сировинний потенціал, здійснюємо робочі візити, під час яких презентуємо **Геолого-інвестиційний паспорт ОТГ**. У довіднику представлений опис родовищ, інформація про наявні запаси корисних копалин і геологічні карти, небезпечні екзогенні процеси, перелік спецдозволів і контурів ліцензійних ділянок, звіти геологорозвідувальних робіт, а також аналіз матеріалів Держгеокарти-200 для пошуку об'єктів, перспективних для інвестування.

Служба долучилася до національного проєкту під патронатом Президента України "Велике будівництво" в частині створення пропозицій і надання у користування ділянок надр з покладами корисних копалин, потрібних для будівництва та капітального ремонту доріг. У 2021 році третину спеціальних дозволів надано для розробки та видобування такої сировини в багатьох регіонах України.

Уряд поставив амбітне завдання: позбутися енергозалежності до 2030 року через імпортозаміщення. За останні півтора року Служба провела величезну роботу за напрямом нарощення власного видобутку – започаткувала масштабні вуглеводневі проєкти на площі 50 тис. км² як на морі, так і на суходолі. Також підготувала 50 нафтогазових об'єктів у межах Інвестиційного атласу для винесення на електронні торги. Україна входить до трійки країн Європи з найбільшими запасами найекологічнішого викопного палива, здатна задовольнити власні потреби газу та відмовитися від імпорту.

За два роки Державна служба геології та надр України ініціювала розроблення кількох регуляторних змін для осучаснення й поліпшення роботи галузі, актуалізувала Загальнодержавну програму розвитку мінерально-сировинної бази на період до 2030 року. За участю Служби підготовлено зміни до низки технічних нормативів, правил розробки надр, розпочато процедуру зняття грифа таємно з інформації про запаси деяких стратегічних корисних копалин.

Відкриваємо **потенціал стратегічних мінералів** – підготували портфоліо інвестиційних об'єктів з понад 30 перспективними ділянками для спільної розробки зі стратегічними партнерами. Україна має величезні ресурси мінеральної сировини. Наші надра містять 20 з 30 критичних копалин, що входять до переліку критичних для ЄС. Це літій, титан, цирконій, тантал, ніобій, нікель, кобальт та інші. Ми запрошуємо іноземних інвесторів розвідувати й розробляти ділянки надр з покладами критичної сировини шляхом участі в елек-

тронних аукціонах, а також долучатися до робочих проєктів на вже заліцензованих об'єктах через бізнес-партнерство. Укладено Меморандум про стратегічне партнерство у сировинній галузі між Україною та Європейським Союзом і відповідну дорожню карту заходів. Україна має добрі шанси інтегруватися в сучасні високо-технологічні цикли як сталий елемент спільних ланцюгів постачання з нашими державами-партнерами.

Ефективне надрокористування – третій пріоритет. Держгеонадра змінили підхід до моніторингу користування надрами: здійснюється публічний контроль за розробкою надр. Це має запобігти появі "сплячих ліцензій" і незаконному видобутку.

У 2021 році **Департамент державного геологічного контролю** провів 785 перевірок, зокрема 159 позапланових. У результаті винесено 714 приписів, зупинено 309, анульовано 217 та ухвалено рішення про анулювання через суд 219 спецдозволів. Плани та результати заходів державного нагляду (контролю) у межах діяльності Державної служби геології та надр України доступні на Інспекційному порталі.

Проведено публічний аудит надр – інформація про обсяги видобутку корисних копалин, сплату податків та власників спецдозволів стала відкритою для суспільства, "сплячі" спецдозволи анульовано.

Держгеонадра співпрацюють з правоохоронцями й широким загалом для виявлення фактів незаконного видобутку, створюють зручні та прості в застосуванні онлайн-сервіси для їхньої перевірки. За допомогою відкритих баз даних доступна зручна онлайн-перевірка розміщення ділянок санкціонованої розробки корисних копалин разом з поточним статусом дії спеціального дозволу.

Факт наявності спеціального дозволу на тій чи іншій території можна перевірити за допомогою смартфона самостійно. Для цього треба завантажити Google Earth на мобільний пристрій і додати файли в kmz-форматі з Державного геологічного порталу. Далі – визначити своє місцеперебування, активізувавши геолокацію, і переглянути межі й статус спецдозволу.

Серед ключових досягнень у боротьбі з незаконним видобутком – розроблені з участю Держгеонадр і схвалені в парламенті законодавчі ініціативи про підвищення відповідальності за несанкціоновану розробку місцевих корисних копалин (законопроект №3576) та про легалізацію видобутку бурштину (реалізовано понад 50 спеціальних дозволів на електронних аукціонах).

У 2021 році ми досягнули показників, які є рекордними за останні десятиліття роботи Служби, проте зробити все із запланованого не вдалося через об'єктивні причини. Передусім через брак державних асигнувань на розвиток МСБ, недостатнє фінансування діяльності Держгеоконтролю, а також зарегульоване законодавство. Нині важливо модернізувати профільне законодавство – лібералізувати обіг спеціальних дозволів, закріпити прозорість правил надрокористування, які б відповідали сучасним світовим практикам. Такі кроки посприяють прозорості роботи Держгеонадр, розвитку галузі та геологічного потенціалу регіонів України.

У 2022 році Держгеонадра продовжать роботу над визначеними пріоритетами. А отже, повноцінно запрацює е-кабінет, функціонал якого буде розширено; електронний каталог відомостей про геологічну інформацію буде наповнено, реєстр нафтогазових свердловин – модернізовано. Як і раніше, Служба активно залучатиме інвестиції у сферу надрокористування, підготує нові об'єкти та організує онлайн-аукціони з надання ділянок надр у користування. Також надаватиме публічну інформацію про спеціальні дозволи, угоди про умови користування надрами, обсяги видобутку та незаліцензовані об'єкти. Адже лише за умови рівних можливостей і чітких правил сфера надрокористування здатна стати драйвером розвитку вітчизняної економіки, а пріоритети, які визначила Служба, – це план для досягнення поставленої мети.

УДК 552.322.2:553.493 (477.6)

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.6-15>

В. В. СУКАЧ, д-р геол. наук, завідувач відділу (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), svital@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4710-7230>,

Л. В. ІСАКОВ, д-р геол. наук, старший науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), isakov_l@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7672-9602>,

В. П. БЕЗВИННИЙ, кандидат геол. наук, головний геолог (ДП “Українська геологічна компанія”), v.bezvynnyi@ukrgeol.com,

В. О. ШПИЛЬЧАК, головний геолог (Дніпровська геологічна експедиція ДП “Українська геологічна компанія”), spwas@ukr.net

V. SUKACH, Dr. Sci. (Geol.), Head of Department (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU), svital@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4710-7230>,

L. ISAKOV, Dr. Sci. (Geol.), Senior Research Scientist (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU), isakov_l@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7672-9602>,

V. BEZVYNNYI, PhD (Geol.), Chief Geologist (Ukrainian Geological Company), v.bezvynnyi@ukrgeol.com,

V. SHPYLCHAK, Chief Geologist of Dnipro Geological Expedition (Ukrainian Geological Company), spwas@ukr.net

ПОШУКИ РОДОВИЩ РІДКІСНИХ МЕТАЛІВ У СХІДНОУКРАЇНСЬКІЙ ПЕГМАТИТОВІЙ ОБЛАСТІ – ВАЖЛИВИЙ СКЛАДНИК ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ РОБІТ В УКРАЇНІ

PROSPECTING OF RARE METALS IN THE EAST-UKRAINIAN PEGMATITE PROVINCE – IMPORTANT PART OF GEOLOGICAL EXPLORATION IN UKRAINE

Низка рідкіснометалевих елементів, як-от Ta, Nb, Li, Be, Sn, Y, TR, родовища яких безпосередньо пов'язані з пегматитами, входять до переліку критично важливих корисних копалин США, Канади, Австралії та ЄС. Це спонукає розвивати мінерально-сировинну базу вказаних елементів, а також указує на потребу переоцінювання відомих і пошуку нових родовищ рідкіснометалевих пегматитів. Передувати витратному етапу геологорозв'язувальних робіт має докладний усебічний науковий аналіз наявних матеріалів про пегматити досліджуваного регіону зі створенням дієвих критеріїв та ознак прихованого зруденіння. У статті розглянуто геолого-структурні умови розвитку пегматитів та особливості гранітоїдного магматизму Східноукраїнської пегматитової області (Середнє Придніпров'я і Західне Приазов'я), які визначають спеціалізацію пегматитових асоціацій і сформованих ними пегматитових полів та поясів. Виокремлено три пегматитогенерувальні етапи розвитку пегматитової області. Показано, що з третім – граніт-зеленокам'яним етапом пов'язуються всі рідкіснометалеві пегматити області. Також проаналізовано геологічну позицію та будову двох родовищ рідкісних металів (Шевченківське – літій; Крута Балка – літій, танталу, ніобію) та враховано структурну позицію наявних рудопоявів і точок мінералізації рідкіснометалевих пегматитів. На основі геологічної інформації щодо цих родовищ і рудопоявів із залученням результатів власних досліджень і даних з відкритих джерел, сформульовано найвагоміші пошукові критерії й ознаки рідкіснометалевих пегматитів Східноукраїнської пегматитової області. Відтак надано рекомендації на проведення наукового аналізу території зі складанням загальних прогностичних карт території і детальних карт перспективних структур у масштабі 1:10 000–1:25 000; рекомендовано першочергове виконання розшуково-оцінювальних робіт у межах вузлів рідкіснометалевих пегматитів – Воскресенського, Воскресенського-2, Мокроялинського, Блакитні Скелі, Садового в Західному Приазов'ї та Комендантівського й Жовтнянського в Середньому Придніпров'ї, а також проведення детального картування Гуляйпільського пегматитового вузла на півдні Софіївської структури.

Ключові слова: Східноукраїнська пегматитова область, рідкіснометалеві пегматити, літій, Шевченківське родовище, пошуки пегматитів.

Nowadays, there has significantly increased the interest of industry in rare metal mineralization in pegmatites, which determines their importance as raw materials for “critical elements” Ta, Nb, Li, Be, Sn, Y, TR, etc., and thus there is a need to re-evaluate the known and newly-found deposits of rare metal pegmatites. A detailed comprehensive scientific analysis of the available materials on pegmatites of the East-Ukrainian pegmatite province (Middle Dni-pro and Western Azov) with the development of effective criteria and characteristics of hidden mineralization has to precede the production of costly geo-logical exploration works. Due to the special genetic position of pegmatites in the chain of endogenous processes, their unique mineralogical-petrographic, geochemical and metallogenic properties and ability to form within well-defined structures and rock complexes, it is possible to identify very promising areas, with a detailed scientific analysis of areas. There is considered geological and structural setting and granitoid magmatism of the East-Ukrainian pegmatite region, which determine the specialization of pegmatite associations and the pegmatite fields and belts formed by them. Three pegmatite-generating stages of development of the pegmatite region are singled out. It is shown that all rare metal pegmatites of the region are associated with the third – granite-greenstone – stage. The analysis of the geological position and structure of two deposits of rare metals (Shevchenko – lithium; Kruta Balka – lithium, tantalum and niobium) was also carried out, and the structural position of the existing ore occurrences and mineralization points of rare metal pegmatites was taken into account. Based on geological data on these deposits and ore occurrences using previous developments reflected in the literature, the most important search criteria and characteristics of rare metal pegmatites of the East-Ukrainian pegmatite region are shown. Taking into account the above, there are given recommendations for scientific analysis of the territory with the compilation of general forecast maps of the territory and detailed maps of perspective structures in the scale of 1:10 000–1:25 000 with analysis of geological structure and reflection of pegmatite-bearing structures, plicative failure of their strata; study of physical, physico-thermal, chemical and mineralogical properties of rocks with the development of classification of rocks according to the possibility of occurrence of pegmatite bodies in them. Primarily, it is recommended to carry out prospect evaluation survey within the clusters of rare metal pegmatites – Voskresenka, Voskresenka-2, Mokri Yaly, Golubi Skeli, Sadove in the Western Azov and Komendantivka and Zhovte in the Middle Dni-pro region, as well as detailed mapping of the Hulyaipole pegmatite cluster in the south of the Sofiivka structure.

Keywords: East-Ukrainian pegmatite region, rare metal pegmatites, lithium, Shevchenko deposit, pegmatite prospecting.

Вступ. Успішний розвиток будь-якої країни світу в умовах сьогодення передбачає технологічний перехід економіки

на використання “зелених” видів енергії. Відповідно до цієї глобальної тенденції масового характеру набуває виробництво електричних автомобілів, вітрових турбін, сонячних панелей, різних типів акумуляторів та енергетичних сховищ.

Забезпечити відповідною сировиною глобальну технологічну еволюцію покликані геологорозвідувальні роботи (ГРР) у супроводі інноваційних наукових досліджень. Вони дадуть змогу оцінити стан, визначити якість і кількість мінерально-сировинних ресурсів, потрібних для зазначених механізмів і пристроїв. Низка рідкіснометалевих елементів, як-от Ta, Nb, Li, Be, Sn, Y, TR, родовища яких безпосередньо пов'язані з пегматитами, входять до переліку критично важливих корисних копалин США, Канади, Австралії та ЄС [1]. Зокрема, на території України зосереджені родовища 21 виду сировини з переліку 30 видів корисних копалин, що визначені ЄС як "критична сировина" для виробництва пристроїв і розвитку "зеленої" енергетики, зокрема й акумуляторних батарей.

Це спонукає розвивати мінерально-сировинну базу вказаних елементів, а також указує на потребу переоцінення відомих і пошуку нових родовищ рідкіснометалевих пегматитів. У цьому плані треба звернути увагу на пегматити Українського щита (УЩ), зокрема Східноукраїнської пегматитової області в його межах, перспективної на виявлення нових родовищ літію та інших рідкісних металів поряд з уже відомим Шевченківським родовищем.

1. Постановка проблеми. В переліку стратегічної для України мінеральної сировини одна з головних позицій належить літію. Важко уявити сучасний світ без цього хімічного елемента. Окрім уже згаданого виробництва хімічних джерел струму – акумуляторів, дуже широкого діапазону за призначенням і ємністю, літій та його сполуки використовуються в електроніці, ядерній енергетиці, металургії, авіа- та ракетобудуванні, виготовленні піротехнічних, мастильних матеріалів, сплавів, застосовуються в медицині та інших галузях. Отримують метал або його сполуки в результаті гідрометалургійного перероблення літєвих руд, які в промисловій кількості зазвичай концентруються у пегматитах. Головні мінерали-концентратори літію – сподумен, петаліт, амблїгоніт, літєві слюди. В останні роки стрімкими темпами зростає видобування літію з ропи солоних озер і мінералізованих підземних вод. Лідерами з видобутку літію у світі є Австралія, Чилі, Болівія.

Українські поклади літєвих руд є найбільшими в Європі. У нашій країні є три великі родовища літєвих руд: Шевченківське (Донецька область), Полохівське і Станкуватське (Кіровоградська область). Уміст літію в рудах цілком відповідає кількості, що забезпечує економічну доцільність їхнього вилучення за допомогою сучасних технологій. Однак літєвих руд в Україні поки не добувають. Водночас за умови освоєння наявних родовищ металу та з огляду на ресурсний потенціал і виявлення нових покладів, Україна може стати одним з провідних постачальників літію на міжнародний ринок.

Треба зазначити, що приповерхневі, розкриті ерозією родовища вже виявлені й оцінені, а пошуки "сліпих" рудних покладів потребують чималих фінансових витрат, пов'язаних передусім з бурінням свердловин. У таких умовах суттєво зростає роль наукового аналізу й узагальнення наявних геолого-геофізичних матеріалів, що забезпечать пошукові роботи комплексом високоефективних критеріїв і ознак прихованого пегматитового зруденіння. Це дасть змогу вже на стадії проектування локалізувати пошуки на ділянках, перспективних на виявлення родовищ рідкісних металів, пов'язаних з пегматитами.

2. Мета роботи. Удосконалити та систематизувати комплекс прогнозно-пошукових критеріїв та ознак рідкіснометалевих пегматитів Східноукраїнської пегматитової області.

Їхнє впровадження в практику ГРР матиме суттєвий економічний ефект унаслідок максимального зменшення пошукових потенційно рудоносних площ, а отже скорочення обсягів дуже витратних бурових робіт.

3. Стан вивченості питання. Результати різнопланових досліджень пегматитів і пов'язаних з ними родовищ рідкісних металів висвітлено у звітах про геологорозвідувальні та науково-тематичні роботи, а також у численних публікаціях [6–8, 9, 11, 15 та ін.]. Фактично за час вивчення пегматитів накопичено величезний обсяг матеріалів, які потребують ретельного аналізу, переосмислення й систематизування, щоб напрацювати нові й удосконалити вже відомі критерії та ознаки рідкіснометалевого зруденіння і вийти на якісно новий рівень прогнозно-пошукових та оцінювальних робіт. Як еталонні об'єкти для вивчення та оцінювання для нас слугували найвивченіші пегматитові об'єкти, як-от родовища Шевченківське й Крута Балка, а також рудопрояви Федорівської, Сорокинської, Комендантівської, Жовторічанської та інших структур.

Над розробленням і впровадженням у практику пошуково-оцінювальних критеріїв пегматитів працювали всі відомі дослідники пегматитів: А. Гінзбург, М. Солодов, С. Шавло, І. Недумов та ін. [6, 7, 11, 15 та ін.]. Для пегматитів східної частини УЩ комплекс оцінювальних критеріїв розробили такі дослідники, як Ю. Юрк, С. Шавло, Л. Ісаков та ін. [7, 8, 11, 13, 18 та ін.]. У працях вони наголошували, що в межах великих слабо вивчених пегматитоносних територій за умови надійних, наукового обґрунтованих параметрів зруденіння цілком можливо зосередити пошукові роботи лише на обмежених за площею, високоперспективних ділянках.

4. Рідкіснометалеві пегматити Східноукраїнської пегматитової області. Перш ніж перейти до викладення прогнозно-пошукових критеріїв пегматитового зруденіння, важливо навести опис наявних об'єктів рідкіснометалевих пегматитів Східноукраїнської області, розглянувши їхнє положення в структурі УЩ, закономірності поширення й особливості структурної локалізації зруденіння, загальні питання формування рудоносних пегматитів та інші важливі питання.

Геолого-структурні умови та гранітоїдний магматизм визначають спеціалізацію пегматитових асоціацій і сформованих ними пегматитових полів та поясів. Для мегаструктур УЩ характерна купольно-синклінальна будова. Розвиток гранітогнейсових куполів супроводжувався глибокими процесами метаморфізму, метасоматозу, ультраметаморфізму та автохтонного й алохтонного магматизму, які слугували джерелом глибинних кварц-польовошпатових пегматитів керамічної, здебільшого безрудної асоціації. З формуванням синклінальних, зазвичай трогових структур тісно пов'язаний процес гранітного магматизму, який супроводжувався розвитком пегматитового процесу рідкіснометалевої спеціалізації. З областями, де спостерігається проникнення в межі куполів великих гранітних батолітів, за незначного їхнього ерозійного зрізу (для України це гранітні батоліти Волинської і, певне, Інгільської мегаструктур), пов'язані асоціації камерних пегматитів.

УЩ – це пегматитова провінція [18]. У його межах міститься сім мегаструктур, які тією чи іншою мірою є пегматитоносними. Із заходу на схід це такі мегаструктури: Волинська, Дністрово-Бузька, Росинсько-Тікицька, Інгільська, Середньопридніпровська, Західноприазовська і Східноприазовська. Відповідно до загальноприйнятої ієрархічної схеми пегматитів (пегматит > пегматитовий вузол > пегматитове поле > пегматитовий пояс > пегматитовий район > пегматитова провінція) УЩ, як загаль-

на провінція, об'єднує сім районів: Середньопридніпровський, Західноприазовський, Східноприазовський, Інгульський, Росинсько-Тикицький, Дністерсько-Бузький і Волинський.

У структурному плані пегматити Західного Приазов'я і Середнього Придніпров'я об'єднані в Східноукраїнську пегматитову область [18] з огляду на те, що вони належать до єдиного зеленокам'яного [5, 17] етапу розвитку УЩ (рис. 1). Породно-структурні комплекси пов'язані в єдину цілісну купольно-трогову систему, головну роль у якій відіграють такі формаційні комплекси: гнейсово-кристалосланцево-амфіболітовий, граніт-плагіограніт-мігматитовий, зеленокам'яний, що відображають три основні періоди розвитку мегаструктур. Важливе значення для її формування також має

комплекс інтрузій габро, діоритів, плагіогранітів і двопольовошпатових гранітів, укорінених під час викликаної глибинним магматичним плюмом інтенсивної активізації земної кори досліджуваної площі на межі неогархею і палеопротерозою [3, 17].

Процес пегматитотворення має чітку залежність від розвитку структури мегаблоків. Перший етап пегматитотворення пов'язаний з ультраметаморфізмом супракрустальних товщ раннього архею. Це проявляється у вигляді серії субзгідних, подекуди січних жил і шліроподібних виділень, складених високотемпературними слабо диференційованими пегматитами [10].

Другий етап пегматитотворення представлений широкими полями кварц-польовошпатових пегматитів керамічної спеціалізації, розвинутими в межах гранітних куполів мегаблоків, здебільшого в їхніх крайових частинах, представлених серіями великих жильних утворень, які формують майже всі відомі в східній частині УЩ родовища керамічної сировини. Ці пегматити належать гранітоїдному магматизму, представленому плагіогранітними й гранітними інтрузіями і проявленому сукупно з інтрузіями габро, діоритів.

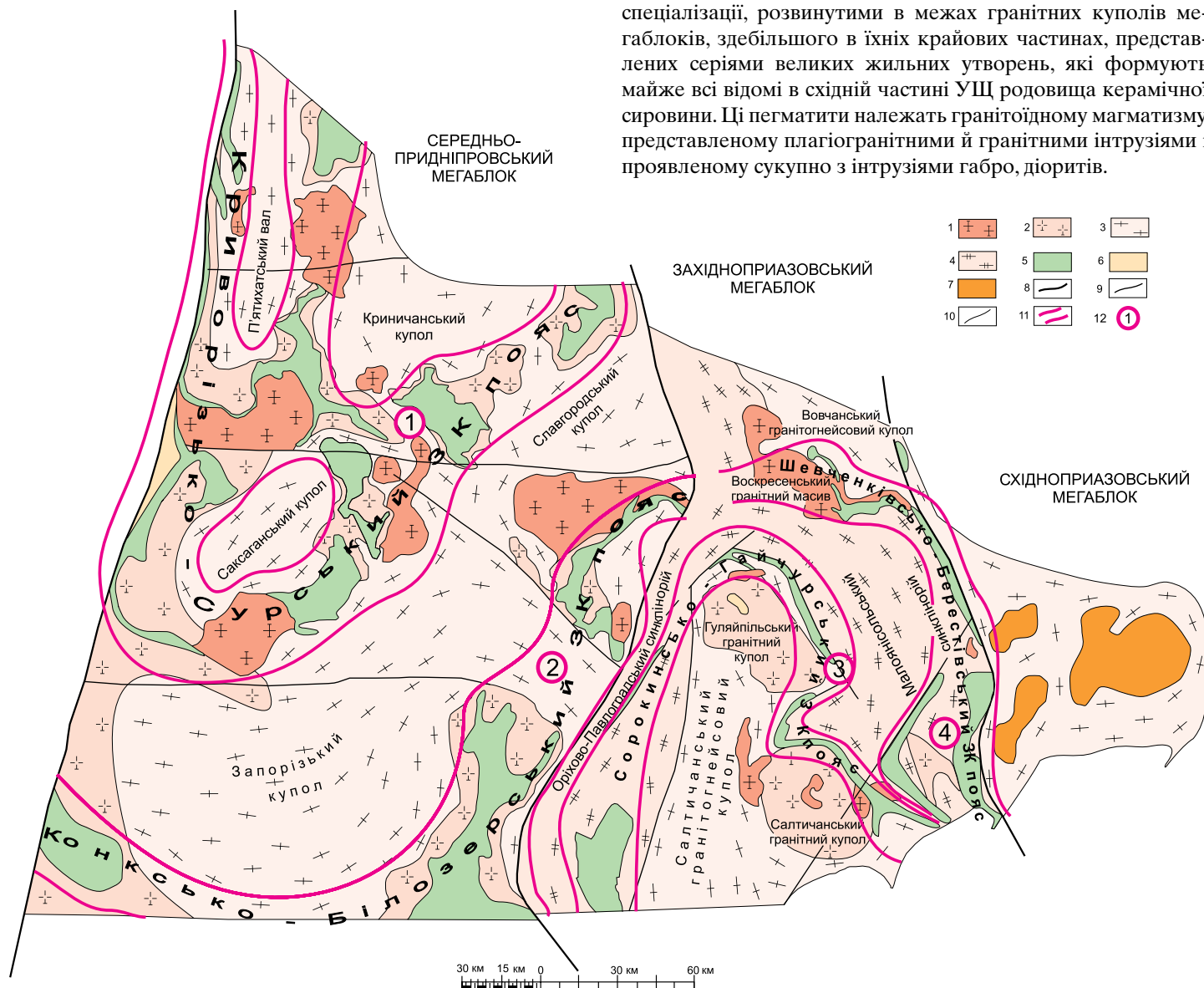


Рис. 1. Схематична геолого-структурна карта Східноукраїнської пегматитової області

1 – двопольовошпатові граніти демуринського, токівського, мокромосковського, добропільського, салтичанського, андріївського та январського комплексів; 2 – плагіограніти, тоналіти сурського, саксаганського, шевченківського комплексів та габро й діорити обіточненського комплексу; 3 – метаморфічні серії (аульська й західноприазовська) та ультраметаморфічні комплекси (славгородський, новопавлівський і дніпропетровський) купольних структур; 4 – метаморфічні товщі (вовчанська й драгунська) та ультраметаморфічні (ремівський і токмацький) комплекси синклінальних зон; 5 – метаморфізовані вулканогенно-теригенні комплекси трогових структур зеленокам'яного типу (конкська, білозерська, осипенківська серія та новогурівська, тернуватська, косівцівська товщі); 6 – теригенні комплекси прирозломних накладених структур (криворізька серія, гуляйпільська світа); 7 – габро, монзоніти, сієніти південнокальчицького й октябрського лужних інтрузивних комплексів; 8 – регіональні глибинні розломи; 9 – інші розривні порушення; 10 – геологічні границі; 11 – умовні границі пегматитових поясів; 1 – Криворізько-Сурський, 2 – Конксько-Білозерський, 3 – Сорокинсько-Гайчурський, 4 – Шевченківсько-Віслинський; 12 – номери пегматитових поясів

Розвиток пегматитів третього етапу, які принесли із собою рідкіснометалеве зруденіння, пов'язаний з гранітними комплексами зеленокам'яного періоду як у Середньому Придніпров'ї, так і в Західному Приазов'ї. Сформований у цей період третій структурний поверх є найбільш диференційованим як за геолого-структурною будовою, так і за гранітним магматизмом, що тісно пов'язаний з розвитком і становленням зеленокам'яних структур (ЗКС). У його межах розвинені гранітні комплекси, склад яких є сталим і характерним для обох мегаблоків: демури́нський, мокромосковський, токівський, добропільський, январський і салтичанський гранітні комплекси. Всі ці комплекси досить добре схарактеризовані в низці публікацій [4, 5, 7, 10, 16–18 та ін]. Їхній ізотопний вік за різним датуванням коливається в межах 3,1–2,1 млрд років [3, 16].

Вкорінення калішпатових гранітів, основних генераторів рідкіснометалевих пегматитів, тривало на завершальній стадії формування ЗКС і відбувалося поетапно з поступовим розкисненням пізніших інтрузій, або їхніх окремих фаз [7, 17, 18]. У перший період вкорінювались і формувалися гранодіорити й меланократові граніти демури́нського та мокромосковського комплексів Середнього Придніпров'я, а також добропільського й январського комплексів Західного Приазов'я. Завершило процес гранітного магматизму зеленокам'яного етапу (другий період формування) вкорінення в контактні зони зеленокам'яних структур і вулканогенно-осадову товщу, яка їх виповнює, інтрузій лейкократових, двослюдяних і сублужних ортитовмісних гранітів мокромосковського й токівського комплексів (Середнє Придніпров'я) та краснокутських, андріївських і салтичанських гранітів (Західне Приазов'я). Це граніти нормального й сублужного ряду, що різко відрізняються за акцесорними рідкісними й рідкісноземельними мінералами від гранітів попереднього етапу й супроводжуються інтенсивним укоріненням пегматитів різної спеціалізації з утворенням великих пегматитових полів.

4.1. Західноприазовський пегматитоносний район. Майже за віковий період досліджень у межах Західного Приазов'я виявлено тисячі пегматитових тіл різноманітного складу, будови, геохімічної та рудної спеціалізації, з якими пов'язано три родовища рідкісних металів (Шевченківське – літію; Крута Балка – літію, танталу, ніобію; Могила Вісла – цирконію, рідкісних земель) та сотні рудопроявів і точок мінералізації рідкісних та рідкісноземельних металів, а також десятки, зокрема й детально розвіданих, родовищ керамічної сировини [7, 13, 15].

Рідкіснометалеві пегматитові поля локалізовані в крайових частинах Салтичанського, Гуляйпільського та Воскресенського гранітних куполів у вузьких зеленокам'яних трогових структурах, які формують два субпаралельні протяжні зеленокам'яні пояси: Шевченківсько-Берестівський і Сорокинсько-Гайчурський. Пегматити є в усіх структурах зазначених поясів, тому в їхніх межах виділено і пояси рідкіснометалевих пегматитів: Шевченківсько-Віслинський і Сорокинсько-Гайчурський (рис. 1) [7, 18].

Шевченківсько-Віслинський і Сорокинсько-Гайчурський пояси мають вигнуту дугувату форму й субпаралельно простежуються в дискретно проявлених трогових ЗКС Західноприазовської мегаструктури, відповідно на 160 км і 230 км; на південно-східному її замиканні вони об'єднуються. Ширина зон розвитку пегматитів в окремих структурах коливається від 1,5 до 5,0 км, а протяжність – від 5 до 30 км.

Шевченківсько-Віслинський пояс складений Шевченківським, Федорівським полями рідкіснометалевих пегматитів, Віслинським полем рідкісноземельних пегматитів та Вовчанським, Дібровським і Павлівським пегматитовими полями остаточно не з'ясованої спеціалізації. Ці поля розвинені в однойменних структурах, розміщених на півночі довкола та в межах Воскресенського гранітного купола з простяганням на південь уздовж Малоаянської зони розломів.

Сорокинсько-Гайчурський пояс утворюють Сорокинське рідкіснометалево пегматитове поле, Куйбишевське, Гайчурське рідкісноземельні пегматитові поля та Драгунське, Молчанське й Чистопільське остаточно не з'ясованої спеціалізації. Зазначені поля розташовані в межах однойменних структур, розвинених навколо Салтичанського гранітогнейсового купола.

З рідкіснометалевих пегматитових полів найліпше вивчено поля Шевченківсько-Федорівської структури (рис. 2) [7].

Найпродуктивнішим у цій структурі є Шевченківський вузол (родовище) рідкіснометалевих пегматитів [7], розмі-

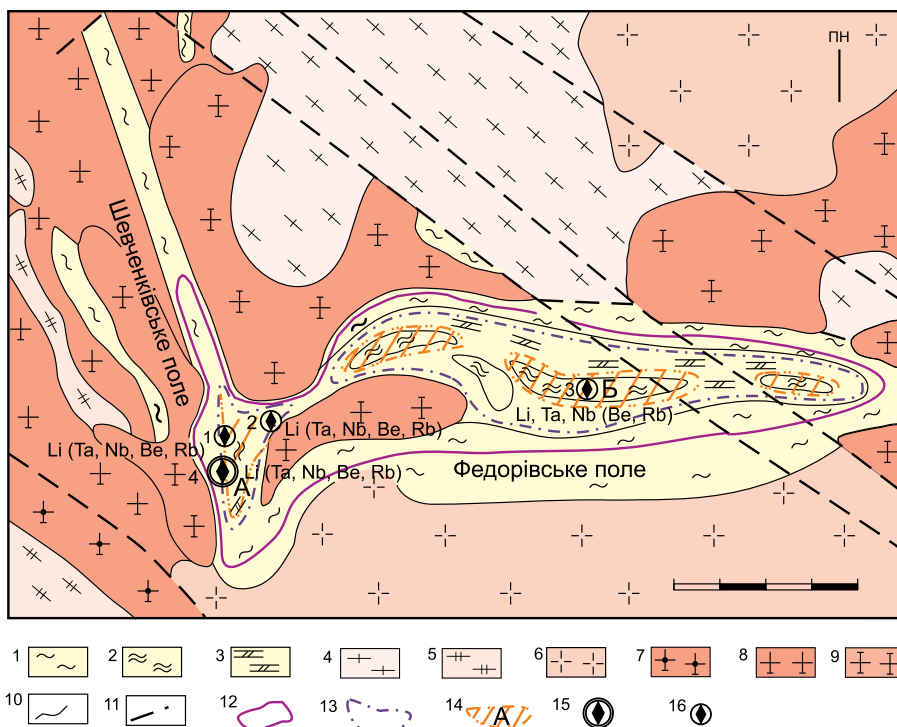


Рис. 2. Схематична карта Шевченківського та Федорівського пегматитових полів
1–3 – пегматитовісні утворення тернуватської товщі: 1 – пачка слюдистих високоглиноземистих сланців, 2 – пачка меланократових амфіболових, амфібол-біотитових сланців, 3 – сланцево-карбонатна пачка; 4–5 – гнейсово-мігматитова товща; 6 – плагіограніти шевченківського комплексу; 7–9 – граніти январського комплексу: 7 – амфібол-біотитові з магнетитом, 8 – біотитові, 9 – мусковіт-біотитові лейкократові; 10 – межі геологічних підрозділів; 11 – розломи; 12 – межі розвитку пегматитових полів; 13 – ділянки (вузли) переважного розвитку альбітових і альбіт-мікроклінових пегматитів; 14 – ділянки (вузли) розвитку альбіт-петаліт-сподуменових та альбіт-сподуменових пегматитів; А – Шевченківський, Б – Мокроялинський; 15 – Шевченківське родовище рідкіснометалевих пегматитів; 16 – рудопрояви рідкіснометалевих пегматитів: 1 – Воскресенський, 2 – Воскресенський-2, 3 – Мокроялинський

щений на зчленуванні Шевченківської грабен-монокліналі з Федорівською грабен-синкліналлю у кристалічних породах тернуватської товщі. У західній і південній частинах, за межами пегматитового поля, розташовані граніти Воскресенського інтрузиву, в південно-східній частині – граніти й гранодіорити архейського шевченківського комплексу (рис. 2).

Загалом у межах пегматитового вузла налічується шість пегматитових тіл єдиної жильної системи зі сталим західним падінням жил під кутами $55-88^\circ$ і простяганням у південній частині за азимутом $8-26^\circ$, а на півночі родовища – за азимутом $323-360^\circ$. Параметри жил змінюються в широких межах: від 144 до 1076 м за довжиною та від 2,0 до 83,8 м за потужністю. Протяжність пегматитових тіл на глибину мінилива і в окремих перетинах перевищує 500 м. Пороdotвірні мінерали (альбіт, мікроклін, кварц) становлять близько 80–95 % об'єму жил. Решта 5–20 % – це літєві мінерали, як-от сподумен, набагато рідше петаліт. Рідкіснометалеві мінерали ніобію, танталу, берилію й олова в складі жил відіграють зовсім незначну роль [7].

На північно-східному простягання зони, що вміщує родовище, одиничними свердловинами виявлено три пегматитові жили сподумен-кварц-польовошпатового складу (рудопрояви Воскресенівський і Воскресенівський-2, які можуть являти собою окремі жили нових рідкіснометалевих пучків типу Шевченківського.

У південно-східній частині Федорівської синкліналі встановлені альбіт-мікроклінові та мікроклін-альбітові зі сподуменом пегматити, які формують Мокроялинський рудопрояв рідкісних металів. Пегматити представлені поодинокими тілами лінзо- і жиллоподібної форми. Їхня потужність – від 0,2 до 13,4 м, протяжність за простяганням – 50–500 м, кут падіння – $40-60^\circ$. Уміст оксидів рідкісних металів становить, %: $\text{Li}_2\text{O} - 0,038-1,170$; $\text{Rb}_2\text{O} - 0,017-0,299$; $\text{Cs}_2\text{O} - 0,020-0,139$; $\text{Ta}_2\text{O}_5 - 0,0028-0,0104$. Рудопрояв недовивчений, високоперспективний.

Сорокинсько-Гайчурський пегматитовий пояс утворюють Сорокинське рідкіснометалеве пегматитове поле, Куїбишевське, Гайчурське, Драгунське й Чистопільське поля невідновленої спеціалізації. Ці поля розташовані в межах однойменних структур, розвинутих навколо Салтичанського гранітогнейсового купола. Гіпотетично не виключено розміщення пегматитових полів у межах Молочанської структури, що майже не досліджена.

Найліпше вивчене Сорокинське пегматитове поле (рис. 3), приурочене до однойменної граніт-зеленокам'яної структури й розташоване в південній частині поясу. У межах поля визначено низку пегматитових вузлів: північно-західної частини Сорокинської ЗКС – Комишуватський, Андріївський,

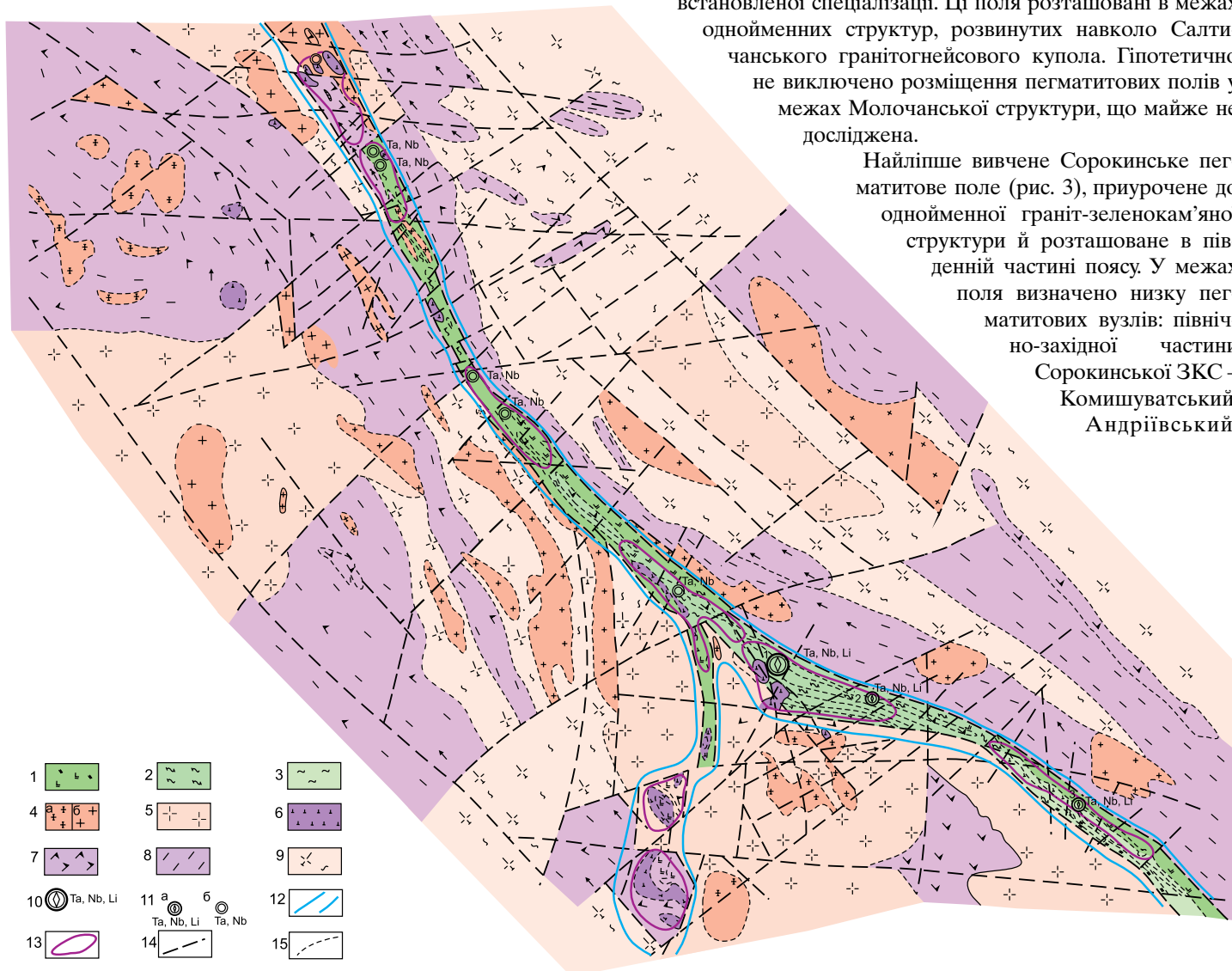


Рис. 3. Схематична геологічна карта Сорокинського поля рідкіснометалевих пегматитів

1 – метавулканіти ольжинської світи; 2 – слюдісті сланці крутобалківської світи; 3 – теригенно-хемогенні утворення садової світи; 4 – граніти: а – мусковітові й мусковіт-біотитові андріївської асоціації, б – ортитовмісні салтичанського комплексу; 5 – плагіограніти шевченківського комплексу; 6 – тіла ультрабазитів; 7 – амфібол-піроксенові гнейси та кристалосланці західноприазовської серії; 8 – біотитові гнейси драгунської товщі; 9 – плагіомігматити; 10 – родовище рідкісних металів Крута Балка; 11 – пов'язані з пегматитами: а – рудопрояви, б – аномалії рідкісних металів; 12 – контур розвитку Сорокинського пегматитового поля; 13 – вузли рідкіснометалевих пегматитів; 14 – розривні порушення; 15 – геологічні границі

Сорокинський; південно-східної частини Сорокинської ЗКС – Крута Балка, Блакитні Скелі, Садовий. Вузли Крута Балка, Блакитні Скелі та Садовий мають чітко визначену рідкісно-металеву спеціалізацію і, ймовірно, дуже тісно пов'язані між собою. Найліпше вивчений вузол Крута Балка [7, 13, 15].

Вузол (родовище) Крута Балка [13, 15] представлений альбітовими й альбітовими зі сподуменом пегматитами. Розташований він у центрі Сорокинської структури в її найширшій частині, розміщений у зоні, де сформувалось її фрагментарне відгалуження, що виникло у зв'язку з кільцевими розломами, які оконтурюють Салтичанський купол. З цього погляду структурна позиція вузла дуже подібна до позиції Шевченківського.

Пегматити вузла (мікроклінові, альбіт-мікроклінові, альбітові й альбітові зі сподуменом) [13, 15] утворюють серію (по-над десятків) плито-, лінзоподібних, іноді грибоватих тіл, які залягають полого, мають довжину за падінням від 50 до 400 м і потужність від десятків сантиметрів до 40 м і більше в роздухах. Падіння жил південно-східне (140°) за кутів $5-25^\circ$. Найбільші жили мають східний напрям нахилу під кутом $20-80^\circ$. У межах пегматитового вузла Крута Балка виокремлено чотири типи жил, які вирізняються просторовою приуроченістю, морфологією і характерними парагенезисами породотвірних і акцесорних мінералів. Це мікроклінові, альбіт-мікроклінові, альбітові й альбітові зі сподуменом пегматити.

Найяскравішим представником рідкісноземельних пегматитів є Гайчурське пегматитове поле, розміщене в межах однойменної структури [7]. Вміст рідкісноземельних мінералів у пегматитах та їхній корі вивітрювання в окремих жилах сягає: ксенотиму – $1,915 \text{ кг/т}$; монациту – $0,104 \text{ кг/т}$. Спектральним аналізом у жилах виявлено Y (до $0,015 \%$) та Yb (до $0,0015 \%$); сума рідкісноземельних елементів сягає $0,11 \%$. Уміст урану коливається від $0,0001$ до $0,024 \%$. У межах поля трапляються пегматити кварц-альбітового складу, незначної потужності ($0,5-1,0 \text{ м}$) з дуже бідною тантал-ніобієвою мінералізацією, але, на наш погляд, основних тіл рідкісно-металевих пегматитів не виявлено.

4.2 Середньопридніпровський пегматитовий район слабо вивчений на пегматити. За загальною геологічними даними й аналогією з іншими кристалічними масивами світу та за наявними фактичними даними в межах Середнього Придніпров'я умовно виокремлено Криворізько-Сурський і Конксько-Білозерський пегматитові пояси, у які об'єднані всі зеленокам'яні структури, включно і з Криворізько-Кременчуцькою зоною (рис. 1) [18].

Серед рудних пегматитів району слід зазначити пегматити Комендантівської та Жовтоводської ЗКС Криворізько-Кременчуцької зони й поодинокі прояви рудних пегматитів у межах Конкської, Верхівцівської та Софіївської ЗКС. Нині встановлено Жовтоводське та Комендантівське поля рідкісно-металевих пегматитів (рис. 4).

Жовтоводське поле [9, 14] розташоване в межах Жовторічанської ЗКС. Пегматити залягають субзгідно зі сланцюватістю вмісних метаморфічних порід. Потужність жил змінюється в межах $0,5-10 \text{ м}$, окремі жили в роздухах досягають 15 м . Склад жил кварц-мікрокліновий, кварц-альбітовий, кварц-альбіт-мікрокліновий, сподумен-кварц-мікроклін-альбітовий з полудитом, полудит-кварц-сподумен-альбітовий, кварц-полудит-мікрокліновий. Зазначимо, що ці пегматити – єдині полудитоносні в межах УЩ [14]. На жаль, цілеспрямованих досліджень пегматитового поля не проводили. Даних про звичайне опробування немає. Проте, зважаючи на спорадично отримані фактичні дані й наведений вище аналіз,

у межах поля треба сподіватися на великі диференційовані тіла пегматитів альбіт-мікроклінового типу, які можуть містити промислові запаси літію, танталу й цезію.

Комендантівське пегматитове поле приурочене до однойменної ЗКС яка, за аналогією з Жовторічанською, оперяє Криворізько-Кременчуцьку зону. За мінеральним складом визначено такі типи пегматитів: мікроклін-олігоклазові, альбітові, альбітові зі сподуменом, альбіт-сподуменові [2, 9, 18].

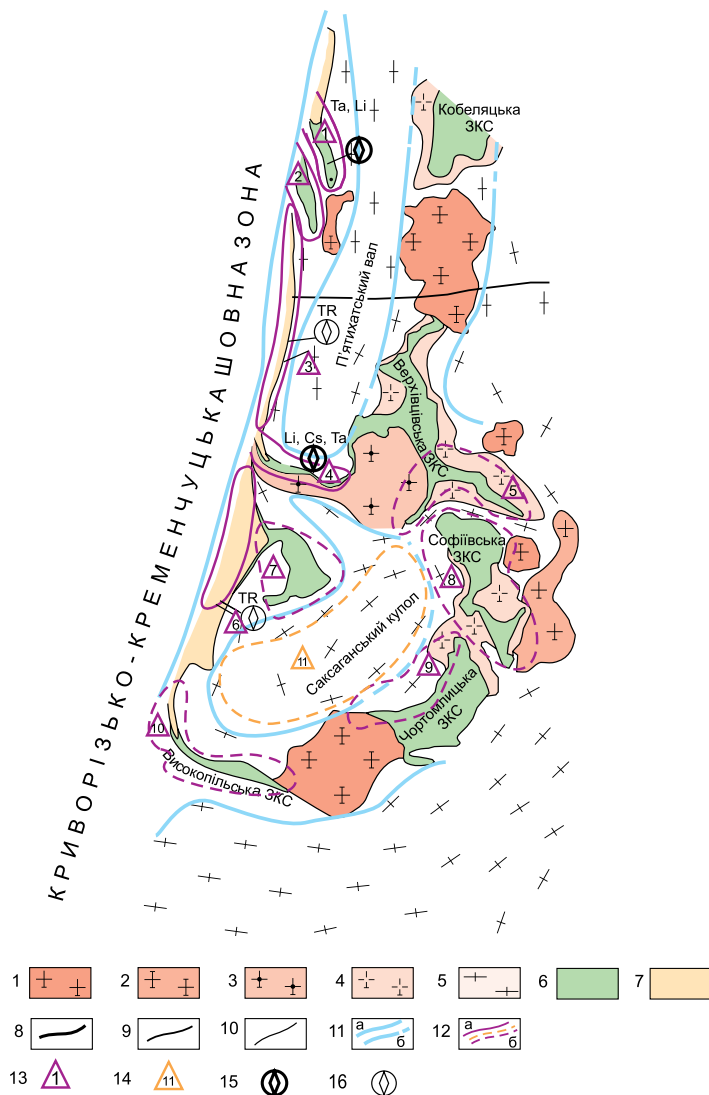


Рис. 4. Схематична геологічна карта пегматитових полів західної частини Середньопридніпровського пегматитового району

Гранітні інтрузивні комплекси: 1 – токівський; 2 – мокромосковський; 3 – демуринський; 4 – сурський плагіогранітний інтрузивний комплекс; 5 – дніпропетровський ультраметаморфічний плагіограніт-мігматитовий комплекс та амфіболіто-гнейсовий породний комплекс аульської серії; 6 – вулканогенно-теригенні метаморфізовані утворення зеленокам'яних структур; 7 – вулканогенно-теригенні утворення Криворізької структури. Розломи: 8 – глибинні, 9 – головні. 10 – геологічні границі. Умовні границі Комендантівсько-Жовтоводсько-Мокромосковського пегматитового поясу: 11а – вірогідні, 11б – імовірні. Границі пегматитових полів: 12а – вірогідні, 12б – імовірні. 13 – поля рідкісно-металевих і рідкісноземельних пегматитів: 1 – Комендантівське, 2 – Паньківське, 3 – Миколаївське, 4 – Жовтоводське, 5 – Південноверхівцівське, 6 – Східноаннівське, 7 – Тернівське, 8 – Софіївське, 9 – Західночортотмицьке, 10 – Високопільське. 14 – Базавлуцьке (11) поле керамічних пегматитів; 15 – рудопрояви рідкісних металів, пов'язаних з пегматитами; 16 – рудопрояви рідкісно-земельних металів, пов'язаних з пегматитами

Загалом у межах вузла відшукали понад 30 жил, що містять аномальну кількість рідкісних металів, серед них Ta_2O_5 – 0,08 %; Nb_2O_5 – 0,14 %; Li_2O – 1,6; Rb_2O – 0,07 %. Зважаючи на геолого-структурні особливості цього рудопояву й дані аналітичних досліджень, можна, за аналогією до відомих родовищ, сподіватися на виявлення родовища рідкісних металів.

Умовно виокремлені пегматитові поля Паньківське, Високопільське й Тернівське, що належать до однойменних зеленокам'яних структур, які оперяють Криворізько-Кременчуцьку зону, нині не досліджені. Проте через геолого-структурну позицію, дуже близьку до відомих полів Комendanтівського й Жовтоводського, їх можна розглядати як прогнозовані поля рідкіснометалевої спеціалізації.

На сході Середнього Придніпров'я розвинуте Мокромосковське пегматитове поле (рис. 4) [9, 15, 18], яке охоплює всю західну частину Конкської структури та контактну зону Мокромосковського масиву. За мінеральним складом серед пегматитів виокремлюються біотит-олігоклазові, біотит-мікроклін-олігоклазові, мусковіт-олігоклаз-мікроклінові, мусковіт-мікроклін-олігоклаз-альбітові та мусковіт-кварц-альбіт-мікроклінові різновиди. Підвищений уміст рідкісних металів виявлено в окремому прожилку пегматиту: Ta (0,005 %) і Nb (0,009 %), Be (0,0001 %), La (0,002 %), W (0,0005 %), Bi (0,0001 %). Високий уміст рідкісних металів (Li, Rb, Cs, Be, Nb, W, Sn, Bi) виявлено також у зоні метасоматичних змін і грейзенизації в породах Кирпотинської синкліналі та в приконтатковій частині Мокромосковського гранітоїдного масиву.

Особливої уваги потребують південна частина Верхівцівської й Софіївська структури та зони їхнього облямування. Пегматити в межах цих структур майже не вивчені, однак на підставі досить фрагментарних даних у їхніх межах свого часу було виокремлено такі пегматитові поля: Грушево-Рудинське, Орільське, Карнаухівське та Гуляйпільське [9]. У мінералогічних пробах з кори звітрювання вилучено танталіт-колумбіт, ільменіт, монацит, циркон, апатит, пірит, галеніт, торит. Уміст оксидів рідкісних металів становить: -0,002–0,009 % – Ta_2O_5 ; -0,003–0,013 % – Nb_2O_5 , а їхнє співвідношення ($\text{Ta}_2\text{O}_5:\text{Nb}_2\text{O}_5$) 0,5–3,0 вказує на високу перспективність пегматитів на танталове зруденіння. Поля пегматитів Софіївської структури також не вивчено, але ж ця структура, як найбільш еродована, є, очевидно, найперспективнішою на рідкіснометалеві пегматити серед ЗК структур Середнього Придніпров'я.

5. Пошукові критерії та ознаки рідкіснометалевих пегматитів Східноукраїнської області. Нижче сформульовано визначальні критерії прогнозування та оцінення територій окремих пегматитоносних зон і пегматитів на рідкіснометалеве зруденіння, пов'язане з пегматитами.

Віковий критерій. Передусім треба зазначити, що геологічні спостереження й визначення радіологічного віку пегматитів указують на те, що пегматити утворюються в усі геологічні епохи. Але водночас підраховано, що з усіх відомих нині пегматитів приблизно 80 % становлять докембрійські прояви, тобто пегматити для докембрійських утворень не є унікальним, а радше звичайним явищем. На родовища пегматитів архею і протерозою припадає понад 70 % усіх пегматитових запасів Li, Cs, Ta, Be, Sn і більшість родовищ керамічної сировини. Виявлені вони в межах пегматитових поясів Канадського, Австралійського, Балтійського та інших щитів. Отже, мають бути наявними і в межах подібного УЩ, що також має вік архею і раннього протерозою. Розміщені в

межах трогових структур Західного Приазов'я та Середнього Придніпров'я рідкіснометалеві пегматити відповідають головним умовам розвитку пегматитів зазначених давніх платформ, але вони значно (в десятки разів) поступаються їм за запасами. На нашу думку, нові дослідження пегматитів області можуть різко скоротити це відставання.

Геолого-структурний критерій. Основна маса пегматитів рідкіснометалевої спеціалізації локалізується в межах ЗКС в облямуванні гранітних куполів і масивів, формуючи протяжні пояси. Останні зазвичай простягаються на сотні кілометрів, а приурочені до них пегматитові поля здебільшого лінійно витягнені на відстань до 20 й більше кілометрів та складені серіями у вигляді пучків зближених плитоподібних або еліпсоїдних округлих тіл. Класичним прикладом цього є Шевченківсько-Берестівський і Сорокинсько-Гайчурський пояси Західного Приазов'я.

Геолого-генетичний критерій. Більшість дослідників пегматитів [6, 7, 18] зазначає, що для докембрійських пегматитів рідкіснометалевої асоціації характерний суттєвий зв'язок з гранітними масивами, а Л. В. Ісаков [7] вважає такий зв'язок обов'язковим. Зазвичай це диференційовані масиви з фазами чи субфазами невеликих тріщинних, витягнених уздовж розломів нормальних і сублужних мусковітовмісних і лейкократових гранітів.

Прикладом може слугувати Воскресенський багатофазний інтрузив [7]. Калієві амфібол-біотитові граніти цього інтрузиву належать до групи гранодіоритів, біотитові – до нормальних гранітів, мусковіт-біотитові – до групи лейкогранітів. Усі вони – утворення нормальної вапнисто-лужної серії. Від першої до наступної фази в породах масиву збільшується вміст SiO_2 , K_2O , Na_2O і зменшується – CaO , MgO , FeO , TiO_2 . Від першої до наступних фаз гранітів підвищується вміст рідкісних металів. Пегматити полів просторово пов'язані із зонами розвитку тріщинних мусковіт-біотитових і лейкократових краснокуцьких гранітів найпізнішої фази становлення інтрузиву.

Чинник глибинності формування. Важлива глибинність формування пегматитів. Пегматитовий розчин-розплав саме на глибині нижче від 1,5 км кристалізується без втрати флюїдної частини [6]. А. Гінзбург з колегами наводять таку емпіричну залежність розвитку рідкіснометалевих пегматитів зі збільшенням ступеня метаморфізму. З кордієрит-амфіболовою фацією (примежова з породами зеленосланцевої фації) асоціюють альбітові й мікроклін-альбітові танталоносні пегматити; до зони розвитку кордієриту (кордієрит-ставроліт-гранат-андалузит-слюдисті, іноді силіманітовмісні сланці) приурочені поля мікроклін-альбітових пегматитів зі сподуменом та альбіт-сподуменові пегматити. З більш високотемпературними стадіями метаморфізму пов'язані альбіт-мікроклінові різновиди, мікроклінові пегматити з бериллом, каситеритом. Наведена закономірність дає змогу різко обмежити площі розшуків рідкіснометалевих пегматитів, оскільки описаним умовам відповідають тільки утворення, розвинені в трогових структурах ЗКС.

Структурно-літологічний критерій. На локалізацію, потужність, форму, склад, а також рудну спеціалізацію певним чином впливають мікροструктурні особливості вмісного літологічного комплексу та співвідношення у їхній будові породних різновидів, фізичні та хімічні властивості, мінеральний склад тощо. Передусім це розвиток дрібних плікативних складок і різкого підвертання самих структур чи їхніх складників, що сприяють утворенню закритих тріщин-пасток у жорстких породах, розміщених серед пластичних порід.

Вплив уміщувального породного комплексу. Для локалізації великих тіл і пучків пегматитових тіл потрібні, по-перше, жорсткі породи, здатні до розтріскування з утворенням значних порожнинних тріщин, а по-друге – літологічна диференціація вмісної товщі з чергуванням м'яких (наприклад, слюдисті сланці) і твердих (роговики, основні та ультраосновні утворення) порід, що сприяло б у разі стресових навантажень формуванню в останніх порожнинних тріщин. У науковій літературі подібних умов наведено безліч. Наприклад, за працею [6], пегматити Кольського півострова локалізовані майже повністю в лінзоподібних тілах амфіболітів, які становлять усього 3 % від загальної маси сланців пегматитоконтролювальних зон. Для східної частини УЩ виявлено такі характерні умови. Рідкіснометалеві пегматити Шевченківського вузла локалізовані в межах масивних ороговикованих амфіболових сланців і скарнованих кальцифірів, облямованих пластичними слюдистими сланцями в зоні різкого горизонтального підвертання структури. Рідкіснометалеві пегматити пучка Крута Балка локалізовані в межах масиву ультраосновних порід, облямованого тими ж слюдистими сланцями в зоні відокремлення вузької грабеніподібної гілки від головної пегматитовмісної структури.

Хімічний і мінеральний склад порід, які вміщують пегматити, так само може суттєво впливати на склад пегматитових жил. Зазначимо, що А. Гінзбург з колегами [6] розробили класифікацію порід за ступенем сорбції (поглинання) лужних і рідкісних металів. До інертного класу зачислено кварцити й кристалічні вапняки; базити й ультрабазити визнано такими, що поглинають слабо; різні слюдисті сланці поглинають активно. Можна припустити, що в інертних (неактивних) породах пегматити зберігають флюїдну фазу майже в повному обсязі, тому вони збагачені рідкісними металами та їхніми мінералами; у породах активних і здатних до сорбції (слюдовмісних) пегматити разом з флюїдною фазою розсіюють у вмісній породі рідкісні метали у виді ореолів. Очевидно, саме тому в межах північної частини Шевченківської структури у слюдистих породах наявні великі ореоли літію й немає пегматитів з рідкіснометалевими мінералами. Подібне спостерігається на родовищі Крута Балка в місцях переходу пегматитів з ультраосновних порід у слюдисті сланці [13].

Зональність пегматитових об'єктів. Переважна більшість пегматитових полів і вузлів мають зональну будову, а тому з'ясування типу пегматитів сприяє ефективним розшукам пегматитів відповідної спеціалізації за простяганням, поперек простягання або за потужністю залежно від типу їхньої зональності. Для виявлення подібних закономірностей потрібне детальне вивчення складу пегматитів, їхньої внутрішньої будови, форми залягання, зв'язку з материнськими гранітами тощо. Поля рідкіснометалевих пегматитів давніх платформ зазвичай складені широко розвиненими в їхніх межах безрудними пегматитами мікроклін-олігоклазового складу із шерлом і гранатом та одним або щонайбільше двома-трьома вузлами різних чи одного типу пегматитів рідкіснометалевої спеціалізації. З наближенням до рідкіснометалевих пегматитових пучків спостерігається розвиток у зазначених пегматитах апографічних структур і суттєве збагачення їх рідкісними металами (аж до появи власних мінералів). Пегматитові пучки (вузли) [6, 7, 11] мають таку будову: з віддаленням від материнського гранітного масиву мікроклінові й мікроклін-олігоклазові пегматити змінюються мікроклін-альбітовими й альбітовими, найбільше віддалені альбіт-сподуменові різновиди. Можливе “випадіння”

із зазначеного ряду окремих типів пегматитів і наявність у пучку здебільшого двох типів пегматитів, що притаманне й Шевченківському пучку [7]. В його межах виявлено тільки альбітові й альбіт-сподуменові пегматити. Шевченківський тип пучка – це серія стрімкоспадних жил лінзо-плитоподібної форми драбинчастого закладення в зонах тектонічних переміщень і різких горизонтальних підвертань плікативних структур. Повніший пучок утворюють пегматити родовища Крута Балка. В його межах виявлено мікроклінові, альбітові й альбітові зі сподуменом пегматити. Крутобалківський тип пучка – це серії пегматитових тіл, які полого залягають у тріщинах відриву в масивах основних та ультраосновних порід.

6. Специфіка досліджень пегматитів. Спеціалізацію пегматитових тіл можна виявити під час безпосереднього вивчення їхньої внутрішньої будови, мінерального складу структурних зон, комплексів; через вузькоспрямоване дослідження мінералів як самих пегматитів, так і зон екзоконтактів; з'ясування геохімічних особливостей пегматитових тіл та ореолових зон навколо них. Це такі ознаки, як мінералого-геохімічні, структурно-текстурні, петрохімічні, термобарогеохімічні, термолюмінесцентні. Під час мінералогічних досліджень треба визначити загальний мінеральний склад порід, мінеральні асоціації (наприклад, для пегматитів Шевченківського родовища їх виявлено 10) та структурну мінералогічну зональність. На цій підставі з'ясовують тип пегматиту і його практичну цінність.

В. Павлишин з колегами [12] в ІГМР НАНУ розробили групу специфічних оцінювальних методів дослідження мінералів: кварцометричний, слюдометричний, польовошпато-метричний тощо, за допомогою яких можна визначати перспективність пегматитів, що містять досліджувані мінерали. Мінерали аналізують способом радіоспектроскопічного, люмінесцентного, термобарогеохімічного та інших аналізів (валове й індивідуальне вивчення). Ці методи в разі детального їх напрацювання стосовно мінералів пегматитів можуть виявитися інформативнішими, ніж візуальні спостереження.

Висновки та рекомендації. Геологознімальні та цілеспрямовані геологорозвідувальні роботи на пегматитах в межах Східноукраїнської пегматитової області виконані спорадично, без огляду на специфіку картування, опитування та оцінювання пегматитонесних територій, і здебільшого не дають упевненості в наявності чи відсутності родовищ рідкіснометалевих пегматитів навіть на територіях з досить детальним виконанням геологорозвідувальних робіт. Так у Західному Приазов'ї в межах Федорівської структури, покритої глибинним картуванням масштабу 1:50 000 і детальними пошуковими роботами, залишилися майже не дослідженими виявлені рідкіснометалеві пегматити з танталіт-колумбітом, сподуменом, бериллом, розміщені у південно-східній ділянці структури; не досліджена північна частина зони зчленування із Шевченківською структурою, де наявні одиничні перетини рідкіснометалевих пегматитів. У межах Сорокинської структури більшість зі знайдених проявів рідкіснометалевих пегматитів не оцінена, зокрема, такі перспективні рудопрояви, як Блакитні Скелі й Садовий. Відоме родовище Крута Балка цієї структури також не повною мірою вивчене й може вміщувати набагато перспективніші на промислове зрудення типи пегматитів – альбіт-мікроклінові та альбіт-сподуменові. У межах Середнього Придніпров'я, за винятком Комендантівської структури, цілеспрямованих пошукових робіт на пегматити рідкіснометалевої спеціалізації не проводили. Але ж і пегматити Комендантівського пегматитового поля

було хибно пов'язано із січною до однойменної пегматитовмісної ЗКС (якої на той час ще не встановили) післярудною розломною зоною, що не дало змоги простежити їх за простяганням і виокремити хоча б рудопрояви рідкіснометалевих пегматитів. Рідкіснометалевих пегматитів Жовтянського пегматитового поля не досліджували взагалі, і це при тому, що в межах пегматитовмісної структури тривалий час проводили підземні експлуатаційні роботи на уран. Але згідно з фрагментарними даними й окремими публікаціями там наявні танталові, літєві та цезєві пегматити. Міжвідомчі перепони явно призвели до втрати родовищ цінних металів у цій структурі. Через брак достатнього наукового обґрунтування майже не вивчено на рідкіснометалеві пегматити такі структури, як Гайчурська, Куйбишевська, Павлівська, Драгунська, Вовчанська й Дібрівська в Західному Приазов'ї, а також Конкська, Софіївська, Верхівцівська й низка ЗКС уздовж Криворізької структури в Середньому Придніпров'ї. Не проведено робіт з визначення ерозійного зрізу зеленокам'яних структур, а дані таких досліджень спрямували б роботи на більш перспективні ділянки структур.

Аналізування території досліджень на підставі окреслених вище критеріїв і ознак рідкіснометалевого зруденіння, пов'язаного з пегматитами, дало нам змогу надати такі пропозиції стосовно проведення в межах східної частини УЩ геологорозвідувальних робіт на рідкіснометалеві й керамічні пегматити:

- виконати попередній науковий аналіз наявного фактичного матеріалу щодо пегматитовмісних структур і гранітоїдів, розвинених в об'лямуванні та в межах цих структур, а також власне пегматитів; скласти загальні прогнозні карти Середньопридніпровської і Західноприазовської структур масштабу 1:500 000 та детальні прогнозні карти перспективних структур у масштабі 1:100 000–1:25 000;

- виконати геолого-прогнозне картування масштабу 1:25 000 пегматитовмісних структур. Зокрема, у Західному Приазов'ї: I етап – картування Шевченківської, Федорівської, Вовчанської, Дібрівської структур у північній частині регіону та Сорокинської в південній його частині; II етап – картування Гайчурської, Куйбишевської та Драгунської структур. У Середньому Придніпров'ї: картування Комендантівської, Жовтоводської, Софіївської і Конкської структур;

- виконати розшуково-оцінювальні роботи в межах виявлених вузлів рідкіснометалевих пегматитів – Воскресенського, Воскресенського-2, Мокроялинського, Блакитні Скелі й Садового в Західному Приазов'ї та Комендантівського і Жовтянського в Середньому Придніпров'ї, провести детальне картування Гуляйпільського пегматитового вузла на півдні Софіївської структури.

У результаті проведення зазначених ГРП буде оцінено та з'ясовано промислові перспективи вже відомих рудопоявів рідкіснометалевих пегматитів, а також виявлено нові, пов'язані з пегматитами, рудопояви та родовища рідкісних металів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баряцька Н. В. Поняття критичної сировини – інструмент стимулювання розвитку надрокористування в Україні//Мінеральні ресурси України. – 2020. – № 2. – С. 13–18.
2. Берзенин Б. З., Бобров А. Б., Кичурчак В. М. Физико-химические условия образования редкометалльных пегматитов Среднего Приднепровья//Геохимия и рудообразование. – 1981. – Вып. 9. – С. 63–66.
3. Бибикина Е. В., Лобач-Жученко С. Б., Артеменко Г. В. и др. Позднеархейские магматические комплексы Приазовского террейна

Украинского щита: геологическое положение, изотопный возраст, источники вещества//Петрология. – 2008. – Т. 16. – № 3. – С. 27–247.

4. Бобров О. Б., Ісаков Л. В., Сукач В. В. та ін. Комендантівська структура – нова зеленокам'яна структура Середньопридніпровського мегаблока Українського щита//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2007. – № 4. – С. 10–25.

5. Бобров О. Б., Сіворонов А. О., Малюк Б. І., Лисенко О. А. Тектонічна будова зеленокам'яних структур Українського щита//Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2002. – № 1–2. – С. 46–67.

6. Гинзбург А. И., Тимофеев И. Н., Фельдман Л. Г. Основы геологии гранитных пегматитов. – Москва: Недра, 1979. – 296 с.

7. Ісаков Л. В. Поля гранітних пегматитів Західного Приазов'я. – К.: УкрДГРІ, 2007. – 134 с.

8. Ісаков Л. В. Стислий огляд прогнозно-пошукових критеріїв та ознак рідкіснометалевого зруденіння, пов'язаного з пегматитами Західного Приазов'я//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2006. – № 2. – С. 8–15.

9. Ісаков Л. В., Бобров О. Б. Пегматитові поля Середньопридніпровського пегматитового району та основні геологічні чинники їх формування//Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2007. – № 3. – С. 35–45.

10. Ісаков Л. В., Сукач В. В., Курочка О. О. та ін. Нові дані про речовинний склад та формаційна належність плагіогранітоїдів Саксаганського купола (Середньопридніпровський мегаблок Українського щита)//Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2007. – № 2. – С. 90–97.

11. Никаноров А. С. Гранитные пегматиты. – М.: Недра, 1979. – 168 с.

12. Павлишин В. И., Багмут Н. Н., Возняк Д. К. и др. Минералогические критерии рудоносности гранитов и пегматитов (на примере месторождений и рудопоявлений Украины)//Минерал. журн. – 1991. – № 13. – С. 3–24.

13. Розанов К. И., Лавриненко Л. Ф. Редкометалльные пегматиты Украины. – М.: Наука, 1979. – 139 с.

14. Савин Б. М. Локализация и минералогическая зональность гранитных пегматитов Желтореченского района/Б. М. Савин, В. Д. Евтехов//Минерал. журн. – 1993. – Т. 15. – № 3. – С. 85–91.

ШАНОВНІ НАУКОВЦІ З ГЕОЛОГІЧНОГО НАПРЯМУ!

Запрошуємо вас до співпраці!

Пропонуємо сторінки нашого видання для висвітлення ваших наукових досліджень.

У 2020 році журнал укотре підтвердив свій **високий науковий рівень**, пройшовши перереєстрацію наукових фахових видань України **на підставі рішення атестаційної комісії 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"



15. Шавло С. Г., Кирикилиця С. И., Князев Г. И. Гранитные пегматиты Украины. – К.: Наукова думка, 1984. – 263 с.

16. Щербак Н. П., Артеменко И. М., Лесная И. М., Пономаренко А. Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. – К.: Наукова думка, 2005. – 243 с.

17. Isakov Leonid V., Maria L. Isakova. Location pattern and genetic classification of granite pegmatites of the Ukrainian Shield//Journ. Geol. Geograph. Geocology. – 2019. – № 28 (4). – P. 631–639.

18. Isakov Leonid V. The origin of megastructures of the Ukrainian Shield in view of the magmatic plume concept//Dniprop. Univer. Bulletin. Geology, geography. – 2017. – № 25 (2). – С. 58–72.

REFERENCES

1. Bariatska N. V. The concept of critical raw material as a tool to stimulate the development of subsoil use in Ukraine//Mineralni resursy Ukrainy. – 2020. – № 2. – P. 13–18. (In Ukrainian).

2. Berzenin B. Z., Bobrov A. B., Kichurchak V. M. Physical and chemical formations of rare-metal pegmatites of the Middle Dnieper//Geohimiya i rudoobrazovanie. – 1981. – Iss. 9. – P. 63–66. (In Russian).

3. Bibikova E. V., Lobach-Zhuchenko S. B., Artemenko G. V. et al. Late Archean igneous complexes of the Azov Terrain of the Ukrainian Shield: geological location, isotopic age, sources of matter//Petrologiya. – 2008. – Vol. 16. – № 3. – P. 227–247. (In Russian).

4. Bobrov O. B., Isakov L. V., Sukach V. V. et al. Komendantivska structure is a new greenstone structure of the Serechnopripyatskyi megablock of the Ukrainian shield//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2007. – № 4. – P. 10–25. (In Ukrainian).

5. Bobrov O. B., Sivoronov A. O., Maliuk B. I., Lysenko O. A. Tectonic structure of greenstone structures of the Ukrainian Shield//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2002. – № 1–2. – P. 46–67 (In Ukrainian).

6. Ginzburg A. I., Timofeev I. N., Feldman L. G. Fundamentals of granite pegmatite geology. – Moskva: Nedra, 1979. – 296 p. (In Russian).

7. Isakov L. V. Fields of granite pegmatites of the Western Azov. – Kyiv: UkrDHRI, 2007. – 134 p. (In Ukrainian).

8. Isakov L. V. Summary of the forecast-and-search criteria and signs of rare metal mineralization associated with pegmatites of the Western Pryazovia//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2006. – № 2. – P. 8–15 (In Ukrainian).

9. Isakov L. V., Bobrov O. B. Pegmatite fields of the Middle Prydniprovskyi pegmatite region and the main geological factors of their formation//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2007. – № 3. – P. 35–45. (In Ukrainian).

10. Isakov L. V., Sukach V. V., Kurochka O. O. et al. New data on the mineral composition and formation occurrence of plagiogranitoids in Saksagan dome (Middle Prydniprovskiy megablock of the Ukrainian Shield)//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2007. – № 2. – P. 90–97. (In Ukrainian).

11. Nikanorov A. S. Granite pegmatites. – Moskva: Nedra, 1979. – 168 p. (In Russian).

12. Pavlishin V. I., Bagmut N. N., Voznyak D. K. et al. Mineralogical criteria for ore content of granites and pegmatites (on the example of deposits and ore occurrences in Ukraine) //Mineral. zhurn. – 1991. – № 13. – P. 3–24. (In Russian).

13. Rozanov K. I., Lavrinenko L. F. Rare metal pegmatites of Ukraine. – Moskva, 1979. – 139 p. (In Russian).

14. Savin B. M., Evtehov V. D. Localization and mineralogical zonation of granitic pegmatites of the Zheltorechensky district//Mineral. zhurnal. – 1993. – Vol. 15. – № 3. – P. 85–91. (In Russian).

15. Shavlo S. G., Kirikilica S. I., Knyazev G. I. Granite pegmatites of Ukraine. – Kyiv: Naukova dumka, 1984. – 263 p. (In Russian).

16. Shcherbak N. P., Artemenko I. M., Lesnaya I. M., Ponomarenko A. N. Geotechnology of the early Pre-Cambrian Ukrainian Shield. – Kyiv: Naukova dumka, 2005. – 243 p. (In Russian).

17. Isakov Leonid V., Maria L. Isakova. Location pattern and genetic classification of granite pegmatites of the Ukrainian Shield//Journ. Geol. Geograph. Geocology. – 2019. – № 28 (4). – P. 631–639.

18. Isakov Leonid V. The origin of megastructures of the Ukrainian Shield in view of the magmatic plume concept//Dniprop. Univer. Bulletin. Geology, geography. – 2017. – № 25 (2). – С. 58–72.

Рукопис отримано 28.10.2021.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

ДЛЯ ДАЛЬШОГО ПІДВИЩЕННЯ НАУКОВОГО РЕЙТИНГУ ЖУРНАЛУ ТА ЙОГО ДОПИСУВАЧІВ ВАРТО ЗВЕРНУТИ УВАГУ НА ТАКЕ:

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 із 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 зазначити 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. Бажано вказати в назві організації відомство, якому вона підпорядковується.

5. В аналітичній системі SCOPUS потрібні пристатейні списки використаної літератури латиницею. Можливості SCOPUS дають змогу проводити такі дослідження: за покликаннями 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 професійну ерудицію та якісний рівень досліджень її авторів.

6. Правильний опис джерел, на які покликаються автори, є запорукою того, що цитовану публікацію буде враховано в процесі оцінювання наукової діяльності її авторів, а отже й організації, регіону, країни. За статистикою цитування журналу визначають його науковий рівень, авторитетність тощо. Тому найважливішими складниками в бібліографічних покликаннях є прізвища авторів і назви журналів. До опису статті треба вносити імена 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, що подається українською/російською мовою, 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 латиницею.

Рукопис статті до редакції автори подають зі своїми підписами.

УДК 553.045

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.16-20>

М. М. КУРИЛО, канд. геол. наук, доцент кафедри геології родовищ корисних копалин (ННІ "Інститут геології" Київського національного університету ім. Тараса Шевченка), kurilo@univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>,

І. В. ВІРШИЛО, канд. геол. наук, доцент кафедри геоінформатики (ННІ "Інститут геології" Київського національного університету ім. Тараса Шевченка), ivirshylo@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1285-5308>,

С. К. КОШАРНА, канд. геол. наук, асистент кафедри гідрогеології та інженерної геології (ННІ "Інститут геології" Київського національного університету ім. Тараса Шевченка), kosharna_sofia@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4523-1086>

М. KURYLO, PhD (Geol.), Associate Professor, Geology of mineral deposits Department (Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv), kurilo@univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>,

І. VIRSHYLO, PhD (Geol.), Associate Professor, Department of Geoinformatics (Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv), ivirshylo@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1285-5308>,

S. KOSHARNA, PhD (Geol.), Assistant Professor, Hydrogeology and Engineering Geology Department (Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv), kosharna_sofia@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4523-1086>

ІНДЕКСИ ДОСТУПНОСТІ КРИТИЧНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ "ЗЕЛЕНОЇ" ЕНЕРГЕТИКИ

ACCESSIBILITY OF INDICES OF CRITICAL MINERAL RAW MATERIALS FOR GREEN ENERGY

У межах дослідження запропоновано методику визначення та розрахунків доступності 17 видів мінеральної сировини, які є критичними для переходу до "зеленої" енергетики з огляду на десять основних технологій. Розрахунок індексів доступності ґрунтується на ранжуванні металів за такими параметрами: 1 – абсолютна кількість металу, використаного в поточному періоді; 2 – прогнозований попит на метал в енергетиці у 2050 році; 3 – кількість технологій, де є потреба в окремому металі; 4 – кумулятивні викиди CO₂, пов'язані з виробництвом металу; 5 – період наявності запасів; 6 – кількість країн, які продукували більш як 1 % світового виробництва металу; 7 – країни з максимальною річною продуктивністю щодо виробництва металу. Відповідно до цих характеристик метали ранжовано за двома сценаріями. Визначено індекс доступності кожного виду сировини. Розрахунок індексу доступності для кожного металу було розширено за допомогою моделювання лінійного тренду та техніки нечіткої логіки. Враховано два сценарії товарних систем "попит-пропозиція" з попередньо розробленим прогнозом до 2050 року: ймовірність базового незалежного параметра та збалансована нечітка сума. Обидва сценарії дали збіжні результати розрахунку, але другий підкреслив важливість ланцюга постачання. Найнижчі значення індексу доступності (до 0,15) розраховано для кобальту, графіту й літію, які є ключовими для виробництва акумуляторів. Низькі показники (до 0,20) також отримано для заліза, нікелю та хрому. Модель нечіткої логіки допомогла розкрити два сценарії до 2050 року й виявити високий рівень невизначеності для прогнозу на 2050 рік.

Ключові слова: ранжування корисних копалин, індекс доступності, семифакторна модель, система "попит-пропозиція", модель нечіткої логіки.

Within the study determination methodology and estimation of availability indices for 17 types of mineral raw materials that are critical for the transition to green energy have been presented, taking into account 10 basic technologies. The calculation of indices is based on the ranking of metals according to the following parameters: 1 – the absolute amount of metal used in the current period; 2 – projected demand for metal in the energy sector in 2050; 3 – the number of technologies where there is a need for a mineral; 4 – cumulative CO₂ emissions associated with metal production; 5 – the period of availability for reserves; 6 – the number of countries that produced more than 1 % of world production; 7 – countries with maximum annual productivity in metal production. The ranking of metals according to these characteristics was carried out according to two scenarios and the index of availability of each type of raw material was determined. The calculation of the availability index for each metal was extended by linear trend modeling and fuzzy logic techniques. Two scenarios of commodity supply-demand systems with a pre-developed forecast until 2050 are taken into account: the probability of a basic independent parameter and a balanced fuzzy sum. Both scenarios gave comparable calculation results, but the second emphasized the importance of the supply chain. The lowest values of the availability index (up to 0.15) were calculated for cobalt, graphite and lithium, which are key battery metals. Low values (up to 0.20) are fixed for iron, nickel and chromium. The fuzzy logic model helped uncover two scenarios by 2050 and reveal a high level of uncertainty in the projected forecast for 2050.

Keywords: ranking of minerals, availability index, seven-factor model, supply-demand system, fuzzy logic model.

Вступ. Перехід енергетики до масштабного використання відновних джерел у світі й Україні зокрема пов'язаний з використанням широкого спектра металів і корисних копалин, обсяги яких є обмеженими. Доступ до більшості з цих корисних копалин лімітований через їхні невеликі ресурси, концентрацію в кількох регіонах, широкий обсяг промислових напрямів використання, що охоплює не лише енергетичну сферу, та низку екологічних обмежень. За прогнозами Всесвітнього банку [5], для задоволення дедалі більшого попиту на чисті енергетичні технології, виробництво таких "металів-акумуляторів", як графіт, літій і кобальт, зросте майже на 500 % до 2050 року. Збільшення попиту на Li сягне 965 %, на Co – 585 %, Ni – 108 %, графіт – 383 %.

Перелік критичних корисних копалин, потрібних для переходу на "зелену" енергетику, охоплює алюміній, хром, кобальт, мідь, графіт, індій, залізо, свинець, літій, манган, молибден, неодим, нікель, срібло, титан, ванадій і цинк. Більшість із них належить до критичної мінеральної сировини в розвинених країнах. Ці метали вважаються життєво важливими для найбільших економік світу, але водночас їхня пропозиція на ринку – постійний об'єкт для низки ризиків, пов'язаних, наприклад, з дефіцитом геологічних ресурсів, геополітичними проблемами, торговою політикою чи іншими зовнішніми чинниками.

Аналітичний огляд останніх досліджень та окреслення не вирішених раніше проблем. Основні ризики реального виробництва в більшості розвинених країн пов'язані з осо-

бливостями поширення запасів, добувних і переробних потужностей. Наразі Азійсько-Тихоокеанський регіон займає провідні позиції на ринку “акумуляторних металів”. Можливо, ця регіональна тенденція збережеться впродовж кількох десятиліть. І на сьогодні це дає змогу країнам-виробникам, зокрема Китаю, використовувати доступність цих ресурсів як потужний геополітичний інструмент.

Перехід до “зеленої” енергетики нині ставить перед країнами актуальне завдання з розроблення кількох варіантів постачання критично важливих металів, що є базовими для всіх технологічних процесів такого переходу. Визначення й оцінення показників доступності для критичних металів, використовуваних в енергетичному секторі, вплине на можливість здійснення “зеленого” енергетичного переходу загалом і впровадження індивідуальних технологій зокрема. Для країн ЄС, США й Канади ці інструменти відомі й традиційні, а для багатьох інших країн ще не були розроблені. Наприклад, в Україні поняття “стратегічні”, “критичні” корисні копалини було введено нормативно, але методології їхнього розрахунку ще не визначено. Для кожного регіону й країни цей підхід може бути доповнений регіональними критеріями важливості.

Наявні методи оцінення ступеня виснаження ресурсів ґрунтуються на кількісних порівняннях запасів корисних копалин і темпів їхнього видобутку. Дуже часто моделі виснаження ресурсів не зважають на політичні, організаційні та інші ризики доступності. Визначення важливих мінералів найчастіше передбачає використання показників інтенсивності у вітчизняному виробництві, наявності власних ресурсів і показник залежності від імпорту. Отже, ці підходи враховують лише минулу або поточну ситуацію і не передбачають майбутнього росту споживання корисних копалин і стратегії пом’якшення можливих шкідливих впливів.

Зважаючи на вищезазначене, у цьому дослідженні для подібного моделювання “доступності” металу пропонується оцінювати ресурс з огляду на такі чинники:

- 1) абсолютна кількість металів, які використовують у поточному періоді для енергетики;
- 2) прогнозований річний попит на енергетичні технології до 2050 року у відсотках від поточної норми;
- 3) кількість технологій, де є потреба в окремому металі;
- 4) сукупні викиди CO₂, пов’язані з виробництвом металу;
- 5) період наявності резервів;
- 6) кількість країн, які продукують понад 1 % світового виробництва;
- 7) країни з максимальною річною продуктивністю металу;

- 8) поширеність металу в земній корі;
- 9) рівень вторинного перероблення металу;
- 10) наявність заміників сировини.

Мета статті – проаналізувати доступність критично-мінеральної сировини, використовуючи логіко-математичні підходи. Серед основних цілей – отримати результати розрахунків, пов’язані не лише із сьогоднішніми, а й майбутніми показниками споживання металу. З цих причин аналіз зважає також на багато зовнішніх ризиків.

Виклад основного матеріалу. Наведений вище перелік характеристик узятो за основу для моделювання доступності металів і встановлення їхнього рейтингу. Кожному використаному параметру було присвоєно відповідні назви та аббревіатури (табл. 1).

Для аналізу було використано дані щодо десяти головних технологій, а саме: вітроенергетики, сонячної фотоелектрики, концентрованої сонячної енергії, гідроенергії, геотермальної енергії, накопичення енергії, атомної енергії, спалювання вугілля й газу, вловлювання та зберігання вуглецю. Окрім власне заліза, дослідження охоплювало чорні й кольорові, другорядні й рідкісноземельні метали (неодим і графіт). А окремий показник враховував використання металу в перерахованих технологіях “зеленої” енергетики.

Для оцінення згаданих ризиків обмежень було використано підхід, подібний до оцінення ймовірності успіху, що часто використовується в геології нафти [3]. Усі перераховані чинники розглядаються як важливі частини системи попиту та пропозиції. І для опису цієї системи було розроблено два сценарії, що передбачають такі припущення:

1. Усі параметри є безперервними функціями, тож застосування лінійного або нелінійного перетворення цих функцій можливе.
2. Запропоновані індекси не мають функціональних взаємозалежностей і можуть бути повністю або частково незалежними змінними.
3. Немає металів, які мали б непереборні ризики у виробництві впродовж прогнозованого періоду (наступні 30 років). Отже, ймовірність успіху можна оцінити в межах 50–100 %, що показують значення, інвертовані до ризику.
4. Усі оцінки є відносними й застосовними для порівняння різних металів, але не демонструють жодного абсолютного рівня успіху використання металу.
5. Зв’язки між металами, видобутими з родовищ комплексного типу (як-от Fe-Cu-Au, Ni-Cu-Co та Pb-Zn-Ag), через велику різноманітність їхніх генетичних типів не враховуються. Крім того, не розглядаються можливості для

Таблиця 1. Основні бальні індекси

Параметр	Назва індексу	Абревіатура індексу
Абсолютний річний обсяг металів, які споживатиме енергетика у 2050 році	Demand IA	IA1
Прогнозований річний попит 2050 року від енергетичних технологій у відсотках до поточного рівня	Relative Demand IA	IA2
Кількість відповідних технологій, де є потреба в кожному металі	Technology IA	IA3
Кумулятивні викиди CO ₂ , що пов’язані з виробництвом металу	Emission IA	IA4
Період наявності резервів металу	Reserves IA	IA5
Кількість країн, які виробляли більш як 1 % світового виробництва металу	Diverse Country IA	IA6
Країни з максимальною річною часткою світового виробництва металу	Dominant Country IA	IA7
Поширеність металу в земній корі	Abundance AI	IA8
Рівень вторинного перероблення металу	Recycling AI	IA9
Наявність заміників сировини	Sustainable AI	IA10

спільного виробництва металів, що особливо властиво кольоровим металам.

6. Частина металів оцінюється за докладнішим товарним типом (алюміній через боксити, титан через ільменіт і рутил) або більш інтегральним (неодим у складі групи рідкісноземельних елементів (РЗЕ)).

Базовий сценарій ґрунтується на гіпотезі статистично незалежних чинників оцінювання доступності металу в категоріях імовірності “шансів / успіху”, аналогічно до підходів у нафтовій геології. У додатковому сценарії розроблено компромісний підхід між керованими даними та експертними оцінками. Вплив різних індексів було згруповано за типами ризику – ризик пропозиції, попиту та геополітики. Для оцінки інтегральної ймовірності успіху такої системи “попит-пропозиція” було використано модель нечіткої логіки.

Окрім того, створені на основі динамічного балансу “попит-пропозиція”, моделі оцінки доступності металів передбачають різні інструменти балансування – не тільки збільшення постачання (пошуків, розвідки та видобутку), а і його диверсифікацію, пошук альтернативних технологій (заміна окремих металів іншими металами або матеріалами), вторинне перероблення, а також враховують екологічні аспекти, пов’язані з видобутком, і політичні ризики.

З-поміж інших праць [7, 9] основними джерелами даних для визначення індексів були: статистика USGS [2, 6] щодо обсягу запасів і ресурсів металів станом на 2019 рік та їхнього споживання, дані Британської геологічної служби [1] та звіту Всесвітнього банку [5], що стосувався використання металів у “зелених” енергетичних технологіях і висвітлював прогноз їхнього споживання на 2050 рік. Окрім того, у межах дослідження було вирішено за доцільне спиратися на наведену в згаданому звіті [5] класифікацію корисних копалин. Відповідно до останньої, мінеральну сировину, доступність якої з кожним роком дедалі явніше стає наріжним питанням, може бути розділена на чотири групи:

1. Перша — це група металів, які не дуже широко використовуються в усіх технологіях відновлюваної енергетики, але є ключовими компонентами специфічних технологій, як-от неодим для енергії вітру й титан для геотермальної енергії.

2. Другу групу становлять корисні копалини, попит на які зростатиме в кілька разів, що супроводжуватиметься високими ризиками в постачанні. Це графіт, кобальт і літій, запаси й видобуток яких монополюють зосереджені в одних регіонах, а споживання — в інших. Будь-які потенційні проблеми в забезпеченні цього попиту спричинять зміни у виробництві акумуляторів і можуть вплинути на хімічний тип батареї або навіть сам тип акумуляторів.

3. Третя група містить такі метали, як-от алюміній і залізо, і відповідно є критично важливою саме через широке використання своїх представників; попит на них не залежить від однієї конкретної технології, вони потрібні у величезних кількостях у широкому діапазоні енергетичних технологій. Ці метали менш схильні до нестабільності й ризику постачання, оскільки високий рівень попиту на них не залежатиме від того, який тип енергетичних технологій переважатиме до 2050 року.

4. До четвертої групи металів зараховано ті, виробництво яких навіть без великого збільшення попиту на корисні копалини, дуже впливатиме на перехід до “зеленої” енергетики. Тому постачання таких металів, як нікель, мідь, хром, манган тощо, вважатиметься ризикованим через їхнє широке використання в інших традиційних галузях.

Для оцінення запропонованого індексу було використано такий двоступеневий підхід:

1) ранжування корисних копалин за найбільш значущими чинниками та визначення індексу доступності окремих металів за кожним з індексів (табл. 2);

2) моделювання інтегрального індексу доступності за різними сценаріями в системі “попит-постачання” (табл. 3).

На першому етапі було визначено й зібрано дані найбільш значущих атрибутів, пов’язаних з вибраним параметром. Наприклад, для Reserves IA є запаси (у тис. тонн), річний видобуток шахт у 2019 році та прогноз видобутку на 2050 р., а також чинник виснаження за оцінкою USGS. На основі цих даних розраховано період наявності резервів (у роках) і той самий період з корекцією зростання попиту на 2050 рік. Як показано на рис. 1, є два кластери металів, де більшість із них демонструють лінійну тенденцію низьких змін у доступності, але три з них (літій, графіт і ванадій) мають істотно скорочену доступність, ніж натеper.

Абсолютне значення періоду доступності було перетворено на індекс доступності за допомогою лінійного перетворення, що діє як нормалізація в пояснених вище межах 0,5–1,0. Для індексів № 1–4 (Demand IA, Relative Demand IA, Technology IA, Emission IA) та № 7 (Dominant Country IA) було використано перетворення (1):

$$I_{availability}^k = \frac{1 - (x_k - x_{min})}{2 \cdot (x_{max} - x_{min})}, \quad (1)$$

де x – вибраний атрибут для описування параметра; індекси k , min , max відповідають поточному, мінімальному й максимальному значенням вибраного параметра серед усіх металів.

Таблиця 2. Загальний індекс доступності за корисними копалинами

Корисна копалина	Індекс доступності							Загальний індекс доступності
	1	2	3	4	5	6	7	
Алюміній	0,63	0,99	0,72	0,89	0,83	1,00	0,64	0,21
Хром	0,98	1,00	0,61	1,00	0,52	0,67	0,84	0,17
Кобальт	0,96	0,53	0,83	0,99	0,50	1,00	0,50	0,11
Мідь	0,91	0,99	0,50	0,99	0,66	1,00	0,95	0,28
Графіт	0,70	0,50	1,00	0,95	0,69	1,00	0,56	0,13
Індій	1,00	0,77	0,94	1,00	1,00	0,83	0,89	0,54
Залізо	0,50	1,00	0,94	0,50	0,80	1,00	0,83	0,16
Свинець	0,95	0,98	0,78	1,00	0,54	1,00	0,74	0,29
Літій	0,97	0,51	1,00	1,00	0,64	0,67	0,66	0,14
Манган	0,95	1,00	0,67	1,00	0,66	1,00	0,94	0,39
Молибден	1,00	0,99	0,61	1,00	0,74	0,92	0,77	0,31
Неодим	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00	0,67	0,53	0,34
Нікель	0,85	0,90	0,56	0,97	0,54	0,92	0,93	0,19
Срібло	1,00	0,94	0,89	0,99	0,52	1,00	1,00	0,43
Титан	1,00	1,00	0,72	1,00	1,00	1,00	0,96	0,69
Ванадій	0,99	0,81	0,89	0,99	0,98	0,50	0,66	0,23
Цинк	1,00	1,00	0,78	0,99	0,55	1,00	0,89	0,38

Таблиця 3. Зіставлення результатів для Сценарію-1 та Сценарію-2 (семифакторна модель)

Корисна копалина	Сценарій-2 $\gamma = 0,1$	Сценарій-2 $\gamma = 0,9$	Сценарій-2 (різниця)	Загальний індекс доступності (Сценарій-1)	Різниця між Сценарієм-2 ($\gamma = 0,1$) та Сценарієм-1
Алюміній	0,37	0,77	0,41	0,21	0,16
Хром	0,20	0,63	0,42	0,17	0,03
Кобальт	0,23	0,73	0,50	0,11	0,12
Мідь	0,34	0,73	0,40	0,28	0,06
Графіт	0,29	0,72	0,43	0,13	0,16
Індій	0,73	0,95	0,23	0,54	0,19
Залізо	0,35	0,86	0,51	0,16	0,19
Свинець	0,34	0,77	0,43	0,29	0,05
Літій	0,31	0,86	0,55	0,14	0,17
Манган	0,44	0,81	0,37	0,39	0,05
Молибден	0,35	0,74	0,39	0,31	0,03
Неодим	0,39	0,90	0,51	0,34	0,05
Нікель	0,25	0,64	0,39	0,19	0,06
Срібло	0,49	0,88	0,39	0,43	0,06
Титан	0,72	0,95	0,24	0,69	0,03
Ванадій	0,32	0,82	0,50	0,23	0,09
Цинк	0,41	0,81	0,40	0,38	0,03

Для визначення індексів доступності № 5–6 (Reserves IA і Diverse Country IA) та № 8 (Abundancy IA) передбачалося: що нижчий розрахований показник, то більші ризики в доступності ресурсу. Тут використано рівняння лінійного перетворення:

$$I_{availability}^k = \frac{0,5 + (x_k - x_{min})}{2 \cdot (x_{max} - x_{min})}, \quad (2)$$

де позначення у формулі такі самі, як у (1).

Для показника № 9 (Recycling IA) та № 10 (Sustainability IA) попередньо було проведено перетворення з дискретного типу в неперервний і застосовано формули (2) та (1) відповідно.

Для розрахунку інтегральної оцінки визначених індексів доступності було використано два базові сценарії: повністю незалежні змінні та частково залежні змінні.

Періоди доступності запасів металів розраховано з огляду на поточний і прогнозований попит. Ці періоди для Ni та St становлять відповідно 13 і 17 років, що менше, ніж оптимальний строк роботи одного великого гірничодобувного об'єкта. Зважаючи на те, що виведення нового об'єкта на заплановані проектні потужності триває від чотирьох до семи років, група корисних копалин (кобальт, хром, срібло цинк, свинець, нікель) з тривалістю періоду доступності менш як 20 років є найризикованішою. Критична потреба в таких металах, як залізо, мідь, алюміній, пов'язана з величезними обсягами використання їх в інших традиційних галузях промисловості, але для заліза найкритичнішим чинником є виснаження високоякісних руд.

Титан та індій мають найвищі показники доступності. Перший – завдяки незначному зростанню попиту, достатній кількості ресурсів, а також легким процесам видобутку й перероблення. Водночас результати розрахунків щодо індію можна вважати не досить точними. Це зумовлено тим, що найчастіше індій отримують зі сфалериту цинк-сульфідної руди, проте у вихідних матеріалах дослідження немає систематичних даних про запаси індію та його видобуток.

У сценарії-2 використано компромісний підхід між моделями, зумовленими даними та експертною оцінкою. Вплив різних індексів можна згрупувати за типами ризику (ризик пропозиції, ризик попиту, технологічні ризики, ризики захисту довкілля та ризик геополітики). Відносини між групами було оцінено як імовірно слабші, ніж у групах. Для оцінки інтегральної ймовірності успіху системи “попит-пропозиція”, було використано модель нечіткої логіки й розроблено триетапну модель, що містить групування параметрів за допомогою операторів нечіткої логіки.

Основна ідея оцінювання, здійсненого на основі такого підходу, – показати низку потенційних змін у балансі між попитом і постачанням. Є багато чинників, які можуть суттєво змінити наявний глобальний баланс, зокрема: світова пандемія COVID-19, що спричинила скорочення виробництва у більшості споживачів металів; політичні чинники; темпи переходу на відновні джерела енергії в кожному регіоні, що зумовлені розподілом природних, особливо кліматичних ресурсів, та інші. Окремо

варто зазначити наявність альтернативи у вигляді ядерної енергетики. Це лише одна галузь, де чималі шанси, що науковий прогрес (наприклад, малі ядерні (уранові чи торієві) реактори, натрієві реактори тощо) можливий і реалістичний у прогнозований період. Це може змінити розвиток технологій і відповідно гірничу галузь у всьому світі.

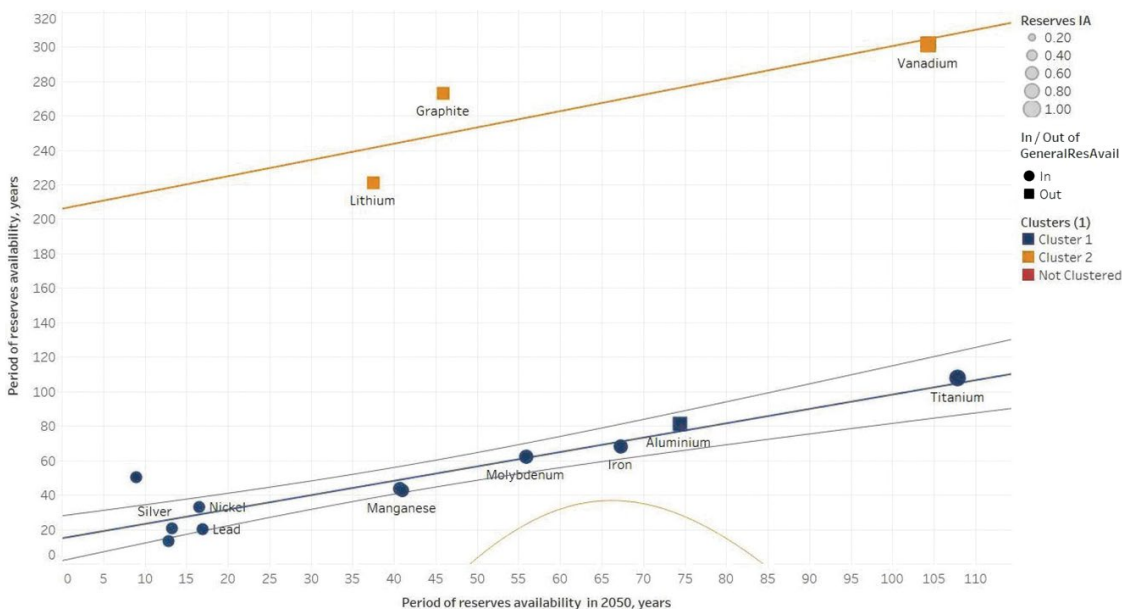


Рис. 1. Діаграма розсіювання періодів наявності запасів металу (з корекцією і без) для прогнозованого зростання попиту на період до 2050 р.

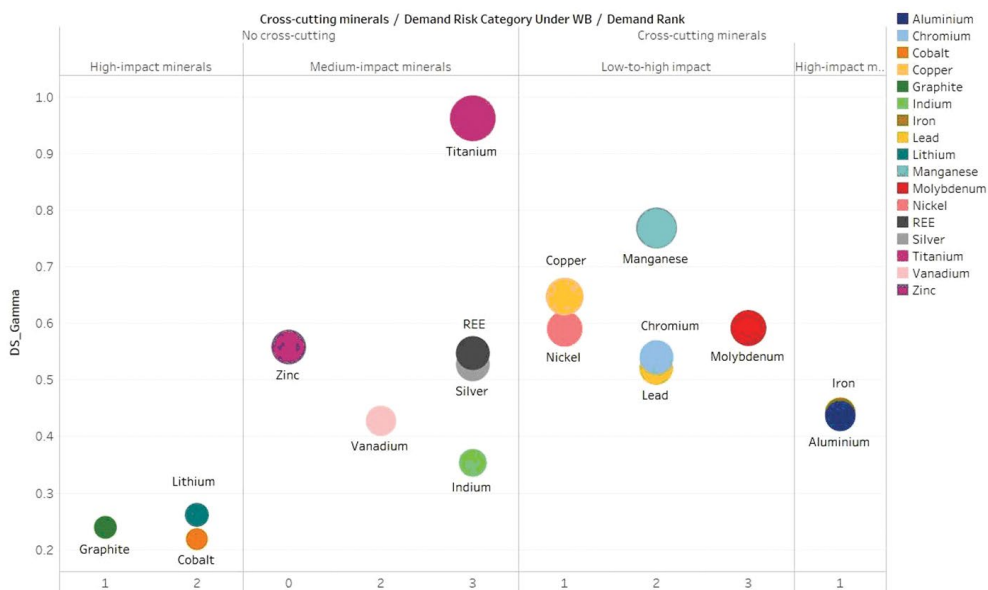


Рис. 2. Результати порівняння 10-факторної моделі для Сценарію-2 з даними Всесвітнього банку. Нечітку модель наведено для гамма $\gamma = 0,1$

Набір нечітких моделей загалом засвідчує, що система постачання є найважливішою для успіху. Модель з гаммою $\gamma = 0,1$ (рис. 2) показує аналогічну оцінку, як у сценарії-1, але дещо оптимістичнішу щодо заліза, алюмінію, літію, графіту та індію.

Модель переважання ризику попиту з гаммою $\gamma = 0,9$ показує найпозитивнішу оцінку успіху (усі бали перевищують 0,6). Але варто зауважити, що хром і нікель мають найнижчі показники через участь у великій кількості технологій у поєднанні з порівняно ризикованою пропозицією. Мідь, молібден і манган можуть компенсувати високі ризики попиту достатньою пропозицією. Зміни в галузі попиту й постачання з будь-якої причини впливатимуть на різні метали по-різному. Найнестабільніша група відповідно до цієї оцінки складається з кобальту, літію, РЗЕ і чорних металів (заліза та ванадію).

Висновки. За результатами проведеного ранжування металів і визначення індексу доступності кожного з них разом було класифіковано 17 металів, які є критично важливими для переходу до “зеленої” енергетики. Їхній вплив нерівнозначний. Деякі метали мають вирішальне значення, утім лише для однієї технології (графіт в акумуляторах і неодим у вітрогенераторах), але мідь і залізо, які використовуються в усіх перерахованих раніше технологій і галузей, – найважливіші елементи для втілення низьковуглецевого майбутнього.

Сценарійний підхід ілюстративно підтвердив, що перший запропонований варіант більш консервативний і втілює статистичну модель, зумовлену даними, за допомогою найнижчого рівня ймовірності успіху. А сценарій-2, що являє собою гнучкішу комбінацію підходів, здатний розширювати наше уявлення щодо корелятивних співвідношень впливів різних індексів із типами ризику.

ЛІТЕРАТУРА

1. Brown, Stephen P. A., Wolk D. Natural resource scarcity and technological change//Economic and Financial Policy Review. – Federal Reserve Bank of Dallas, 2000. – Q1. – 2–13. Available at: <http://www.dallasfed.org/assets/documents/research/efr/2000/efr0001a.pdf> (accessed on 10 December 2020).
2. Community-Based Environmental Protection: A Resource Book for Protecting Ecosystems and Communities July 1997//Office of Sustainable Ecosystems and Communities, Office of Policy, Planning and Evaluation, USEPA, Washington, DC, 1997.

tainable Ecosystems and Communities, Office of Policy, Planning and Evaluation, USEPA, Washington, DC, 1997.

3. Davis J. C. Estimation of the probability of success in petroleum exploration//Mathematical Geology. – 1977. – No 9. – P. 409–427. DOI: Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02047411>

4. European Commission (2011) Tackling the Challenges in Commodity Markets and on Raw Materials. Brussels, COM, 25 final.

5. Hund K., La Porta D., Fabregas T. P., Laing T., Drexhage J. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition//International Bank for Reconstruction and Development. – The World Bank, 2020. Available at: http://www.eqmagpro.com/wp-content/uploads/2020/05/MineralsforClimateActionTheMineralIntensityoftheCleanEnergyTransition_compressed-1-18.pdf

6. National Minerals Information Center. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>

7. TIBCO Data Science platform. Available at: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>

8. United States Geological Survey. Retrieved November 18, 2021 from: <https://www.usgs.gov>

9. US EPA 1996: Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-95/002B. EPA. Washington, DC, 1996.

10. Virshylo I., Kurylo M. The implication of fuzzy sets for energy transition critical minerals modeling of World demand-supply projection//Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. – 2021. [21102].

REFERENCES

1. Brown, Stephen P. A., Wolk D. Natural resource scarcity and technological change//Economic and Financial Policy Review. – Federal Reserve Bank of Dallas, 2000. – Q1. – 2–13. Available at: <http://www.dallasfed.org/assets/documents/research/efr/2000/efr0001a.pdf> (accessed on 10 December 2020).
2. Community-Based Environmental Protection: A Resource Book for Protecting Ecosystems and Communities July 1997//Office of Sustainable Ecosystems and Communities, Office of Policy, Planning and Evaluation, USEPA, Washington, DC, 1997.
3. Davis J. C. Estimation of the probability of success in petroleum exploration//Mathematical Geology. – 1977. – No 9. – P. 409–427. DOI: Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02047411>
4. European Commission (2011) Tackling the Challenges in Commodity Markets and on Raw Materials. Brussels, COM, 25 final.
5. Hund K., La Porta D., Fabregas T. P., Laing T., Drexhage J. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition//International Bank for Reconstruction and Development. – The World Bank, 2020. Available at: http://www.eqmagpro.com/wp-content/uploads/2020/05/MineralsforClimateActionTheMineralIntensityoftheCleanEnergyTransition_compressed-1-18.pdf
6. National Minerals Information Center. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>
7. TIBCO Data Science platform. Available at: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>
8. United States Geological Survey. Retrieved November 18, 2021 from: <https://www.usgs.gov>
9. US EPA 1996: Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-95/002B. EPA. Washington, DC, 1996.
10. Virshylo I., Kurylo M. The implication of fuzzy sets for energy transition critical minerals modeling of World demand-supply projection//Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. – 2021. [21102].

Р у к о п и с о т р и м а н о 11.12.2021.

УДК 551.71+552.4(477)

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.21-29>

В. П. КИРИЛЮК, д-р геол.-мінерал. наук, професор
(Львівський національний університет імені Івана Франка),
академік АН ВШУ, Kyrylyuk.V@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7649-9432>,
А. М. ЛИСАК, канд. геол.-мінерал. наук, доцент
(Львівський національний університет імені Івана Франка),
Lyssak83@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8103-3298>

V. KYRILYUK, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor (Ivan Franko National University of Lviv), Academician of the Academy of Sciences of the Higher School of Ukraine, Kyrylyuk.V@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7649-9432>,
A. LYSSAK, PhD (Geol. & Mineral.), Associate Professor (Ivan Franko National University of Lviv), Lyssak83@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8103-3298>

ЛЕЙКОГРАНУЛІТОВА ФОРМАЦІЯ І ЗЕЛЕНОЛЕВАДІВСЬКА СВИТА ПОБУЗЬКОГО ГРАНУЛІТОВОГО КОМПЛЕКСУ (західна частина Українського щита).*

Стаття 1. Загальні відомості, склад, будова, стратиграфічне положення

ЛЕЙКОГРАНУЛИТОВАЯ ФОРМАЦИЯ И ЗЕЛЕНОЛЕВАДОВСКАЯ СВИТА ПОБУЖСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА (западная часть Украинского щита).*

Статья 1. Общие сведения, состав, строение, стратиграфическое положение

THE LEUCOGRANULITE FORMATION AND ZELENOLEVADIVSKA SUITE OF THE BUKH AREA GRANULITE COMPLEX (western part of the Ukrainian shield).

Article 1. General information, composition, structure, stratigraphic position

(Матеріал друкується
мовою оригіналу)

У статті продовжено обговорення походження лейкогранулітової формації побузького гранулітового комплексу й можливості її виокремлення як самостійного стратиграфічного підрозділу – зеленолевадівської світи – у схемі розчленування нижнього докембрію Українського щита (УЩ). Цю тему було несподівано порушено в статті колективу авторів [24] після тривалого активного використання названих підрозділів у науковій літературі й геологічній практиці. Автори висловили думку, що лейкогранулітова формація не є стратигенним утворенням, а виникла в результаті динамометаморфізму та супутніх процесів діафорезу й кварц-польовошпатового метасоматозу. Саме тому вони вважають, що зеленолевадівську світу треба вилучити зі стратиграфічної схеми докембрію УЩ.

Аргументи, які наводять автори опублікованої статті, не видаються переконливими. Зеленолевадівська світа і гранітоїди, які її замінюють, мають значне поширення в південно-західній частині УЩ й охоплюють приблизно половину її території. Саме тому уявлення про походження та структурну позицію цих утворень мають важливе значення для геологічного картування цього регіону й розуміння його геологічної будови та еволюції. Тож у цій публікації наведено відомі раніше й нові свідчення на користь початкових пріоритетних висновків про стратигенне походження лейкогранулітової формації (зеленолевадівської світи) [17]. Показано, що лейкогранулітова формація складена здебільшого лейкократовими двопольовошпатовими гнейсами та підпорядкованими їм різноманітними супутніми породами. На підставі відмінностей у складі супутніх порід формація чітко поділяється на дві частини: нижню з магнетитумісними породами і верхню з переважанням лейкократових гнейсів, часто перетворених у різноманітні на вигляд гранітоїди. У стратиграфічній схемі УЩ ці частини лейкогранулітової формації позначені як самостійні підрозділи – павлівська (нижня) і зеленолевадівська (верхня) товщі.

Ключові слова: Український щит, побузький гранулітовий комплекс, лейкогранулітова формація, зеленолевадівська світа, нижній докембрій, стратиграфічна схема.

The article continues the discussion of the origin of the leucogranulite formation of the Buh Area granulite complex and the possibility of its isolation as an independent stratigraphic unit – zelenolevadivska suite – in the scheme of the dismemberment of the Lower Precambrian of the Ukrainian Shield. This topic was unexpectedly raised in an article by a team of authors [24] after prolonged active use of these units in scientific literature and geological practice. The authors expressed the opinion that the leucogranulite formation is not a stratigenetic formation, but was the result of dynamometamorphism and the accompanying processes of diaphoresis and quartz-feldspar metasomatism. In this regard, according to the authors, the zelenolevadivska suite should be excluded from the stratigraphic scheme of the Precambrian of the Ukrainian Shield.

The arguments of the authors of the published article do not seem convincing. The zelenolevadivska suite and granitoids that replace it are widespread in the basement of the south-western part of the Ukrainian shield and occupy about half of its territory. That is why ideas about the origin and structural position of these formations are important for the geological mapping of this region and for understanding its geological structure and evolution. In this regard, this publication presents previously known and new grounds that confirm the initial priority conclusions about the stratigenetic origin of the leucogranulite formation (zelenolevadivska suite) [17]. It has been shown that the leucogranulite formation is represented mainly by leucocratic two-feldspar gneisses and by their subordinate variety of related rocks. On the basis of the differences in the composition of the accompanying rocks, the formation is clearly divided into two parts: the lower, including magnetite-bearing rocks, and the upper – dominant leucocratic gneisses, often transformed into various-looking granitoids. In the stratigraphic scheme of the Ukrainian Shield, these parts of the leucogranulite formation are shown as separate subdivisions – pavlivska (lower) and zelenolevadivska (upper) strata.

Keywords: Ukrainian Shield, Buh Area granulite complex, leucogranulite formation, zelenolevadivska suite, Lower Precambrian, stratigraphic scheme.

Предисловие. В пределах западной части Украинского щита (УЩ) широким распространением пользуется ассоциация кислых двуполевошпатовых пород метаморфического, плутонического и мигматитового облика. Ее изучению посвящены труды многих исследователей, высказывавших различные представления о структурном положении, происхождении и возрасте пород, составляющих эту ассоциацию. На протяжении последнего полувека в результате региональных тематических и геолого-съёмочных работ сложилось достаточно устойчивое представление о том, что в основе этой ассоциации лежит исходная *лейкогранулитовая суперкрупная формація*, которая в ходе последующего ультраметаморфизма была преобразована в разнообразные по облику лейкократовые, часто аляскитовые, гранитоиды и мигматиты. Эта же формація, для которой было четко установлено положение в стратиграфическом разрезе побужского гранулитового комплекса, послужила основанием для выделения ее в качестве *зеленолевадовской свиты* [12, 17]. Позднее она была включена в официальную стратиграфическую схему докембрия УЩ как *зеленолевадовская толща* днестровско-бугской серии нижнего архея [31] и под таким названием на протяжении последних десятилетий широко использовалась как в практике геолого-съёмочных работ, так и в научной литературе.

Однако, в ряде публикаций последних лет [24, 28, 29] стратигенная природа лейкогранулитовой формації была поставлена под сомнение и, как следствие, высказано мнение об исключении ее стратиграфического эквивалента из “Кореляційної хроностратиграфічної схеми раннього докембрію Українського щита” (далее КХС УЩ) [14]. Доводы авторов этих публикаций не кажутся нам достаточно убедительными для изменения ранее сложившихся представлений. А поскольку лейкогранулитовая формація играет важную роль в понимании геологического строения и развития западной части УЩ, эта вновь поставленная проблема требует своего дополнительного обсуждения, особенно в связи с подготовкой новой региональной стратиграфической схемы докембрия УЩ.

Следует подчеркнуть, что согласно наиболее распространенным представлениям, которые нашли свое отражение в КХС УЩ, лейкогранулитовая формація, или зеленолевадовская толща, вместе с другими толщами-формаціями входит в состав днестровско-бугской серии. Все толщи-формації испытали общий одинаковый метаморфизм гранулитовой фации, изофациальный ультраметаморфизм и сопряженные структурные преобразования, которые нашли свое отражение в их современном облике и особенностях распространения. В связи с этим, для более полного представления о том, что такое лейкогранулитовая формація (зеленолевадовская свита), целесообразно коротко рассмотреть не только ее собственные типоморфные признаки и отличия от смежных свит-формацій, но и некоторые общие сведения, касающиеся западной части УЩ.

Общие сведения. Западная часть УЩ давно и хорошо известна как область широкого развития разнообразных пород, принадлежащих гранулитовой минеральной фации. Площадь их непрерывного распространения в фундаменте УЩ охватывает верховья рек Случь и Тетерев, левобережную часть Приднестровья, Днестровско-Бугское междуречье и бассейн среднего течения р. Южный Буг от г. Гайворон до г. Первомайск. Эта территория в свое время получила название “гранулитовой дуги”, а позднее “Днестровско-Буг-

ского района”. Под таким названием он длительное время и фигурировал в корреляционных стратиграфических схемах докембрийских образований УЩ. В 2004 году, при очередном переутверждении стратиграфической схемы, этот район был разделен, в стратиграфическом отношении совершенно неоправдано, на два самостоятельных структурных элемента – “Днестровско-Бугский мегаблок” и “Голованевскую шовную зону” [14].

Вся гранулитовая породная ассоциация Днестровско-Бугского района еще в 60–70-х годах XX столетия была выделена в качестве единого архейского побужского комплекса, в состав которого включались как метаморфические, так и сопутствующие ультраметаморфические образования [16, 17]. Позднее выяснилось, что ультраметаморфические образования этой территории по данным изотопного датирования являются значительно более поздними, в сравнении со стратиграфическим возрастом исходного разреза. В связи с этим метаморфические образования стали рассматриваться как самостоятельный побужский стратиграфический комплекс нижнего архея [12, 15], а ультраметаморфические образования в официальных стратиграфических схемах на основании изотопных датировок были разделены на несколько самостоятельных возрастных комплексов.

Доминирующими в Днестровско-Бугском районе являются образования, традиционно (для этой территории) относящиеся к гранитоидам и мигматитам, в первую очередь на основании их плутонического внешнего облика. Большая часть из них ни по петрографическому, ни по петрохимическому составу не отвечает нормативным типам кислых интрузивных пород. Одна из широко распространенных групп – это гранатсодержащие породы, известные как “бердичевские” или “чудново-бердичевские” граниты и близкие к ним “виннициты”. Вторая группа охватывает гиперстенсодержащие образования чарнокит-эндербитового состава. Третья – представлена двуполевошпатовыми породами, в большинстве своем действительно отвечающими по составу или очень близкими к гранитам. Все группы гранитоидов долгое время считались интрузивными, а мигматиты – инъекционными образованиями. В отношении третьей группы такие представления казались вполне очевидными. Что же касается первых двух, то, несмотря на их отчетливые петрографические отличия от типичных гранитоидов, они также рассматривались как продукты кристаллизации контаминированных магм, ассимилировавших различные по составу вмещающие породы.

Впервые идею о немагматическом происхождении бердичевского “гранита”, “винницитов” и “чарнокитов”, под которыми в то время понимались и породы эндербитового состава, высказала Ю. Ир. Половинкина. По ее представлениям, “бердичевский гранит” не проходил стадию расплава, а образовался на месте и при том же метасоматическом процессе, который создал “виннициты” и “чарнокиты” [23]. Исходными для всех этих новообразований Ю. Ир. Половинкина считала пироксен-плагиоклазовые гнейсы (кристаллические сланцы в современной терминологии), а различающиеся группы пород рассматривала не как “продукты двух разных или разновозрастных, но аналогичных процессов, а результат единого длительного процесса гранитизации, на разных стадиях давшего разные породы. Наиболее интенсивная гранитизация привела к образованию гранитоидной бердичевской породы” [23, с. 186].

В 1966 году в западной части УЩ были начаты планомерные геолого-формационные исследования на парагенети-

ческой основе [16, 17]. В результате этих исследований вся породная ассоциация гранулитовой фации была выделена как единый архейский побужский комплекс, расчлененный на ряд суперкрупных и ультраметаморфических формаций. При этом получило подтверждение немагматическое происхождение большей части развитых здесь гранитоидов. Но, в отличие от представлений Ю. Ир. Половинкиной, было установлено, что различающиеся новообразованные группы гранитоидов — это не отдельные разновидности в последовательном ряду гранитизации одних и тех же исходных кристаллических сланцев, а самостоятельные ультраметаморфические формации, каждая из которых возникла в результате замещения, а точнее преобразования, разных исходных суперкрупных формаций с отчетливым унаследованием их состава. При этом было показано, что ультраметаморфические формации сформированы не в результате гранитизации, а преимущественно путем близкой к изохимической перекристаллизации суперкрупных формаций при ограниченной роли анатексиса и метасоматоза.

В числе суперкрупных формаций, послуживших основой для возникновения ультраметаморфических формаций, были выделены [17]: а) кинцитговая, б) кальцифир-кристаллосланцевая формация и формация гиперстеновых гнейсов и кристаллосланцев, объединенные позднее в одну гиперстеновую гнейсово-кристаллосланцевую формацию [12], в) формация биотитовых и биотит-гранатовых гнейсов, получившая впоследствии название “лейкогранулитовая формация” [12], под которым она и известна в настоящее время. В системе стратиграфических подразделений для этих формаций были предложены названия березнинская (кинцитговая формация), тывровская (гиперстеновая гнейсово-кристаллосланцевая формация) и зеленолеводовская (лейкогранулитовая формация) свиты [12, 17].

Следует сразу же отметить, что все эти свиты-формации имеют фрагментарное распространение среди ультраметаморфических гранитоидов и само стратиграфическое расчленение нижней части побужского комплекса, как уже отмечалось ранее [12], является, по сути, *ретростратиграфическим*. Свиты-формации не образуют крупные целостные стратиформные тела, а восстанавливаются по большим или меньшим реликтам и площадям их распространения среди замещивших гранитоидов. И, тем не менее, даже при таком фрагментарном распространении, различия суперкрупных формаций настолько очевидны, что решением Украинской региональной межведомственной стратиграфической комиссии (УРМСК) от 7.06.1984 года [31] они были включены в качестве березнинской, тывровской и зеленолеводовской толщ нижеархейской днестровско-бугской серии в корреляционную стратиграфическую схему докембрийских образований УСЦ, в которой они сохраняются до настоящего времени. Основанием для этого стало то, что “перечисленные толщи и развитие по ним ультраметаморфические образования отчетливо картируются, о чем убедительно говорят геологические карты масштаба 1:50 000 из отчетов П. Ф. Брацлавского и др. (1979), В. В. Зюльцле и др., (1980), В. Д. Гейко и др., (1982)” [8, с. 12].

Вот уже более 30 лет эти стратиграфические подразделения входят в состав “Легенды геологической карты Украины масштаба 1:200 000, серия Центрально-Украинская” [18, 31], используются в ходе Государственного геологического картирования (ГТК-200) и находят свое отражение на геологических картах и в объяснительных записках к ним. Од-

нако, как уже сказано выше, в последнее время появились публикации, в которых отрицается стратигенная природа одной из суперкрупных формаций и соответствующего ей стратиграфического подразделения и прямо говорится, что “лейкогранулитовая формация и соответствующая ей “зеленолеводовская толща” не являются стратифицируемым подразделением и ее необходимо изъять из хроностратиграфической схемы раннего докембрия УСЦ” [24, с. 64]. Это вызвано тем, что, по мнению авторов, “на Побужжі цію формацию складають гранізовані біотитові й гранат-біотитові гнейси формацийно-генетичного ряду кварц-польовошпатових метасоматитів, зокрема, структурно-формацийної асоціації метасоматитів зон регіональних розломів. За даними геологічного, геохімічного, тектонофізичного, радіоізотопного вивчення подібних порід у відслоненнях середньої течії р. Південний Буг ... доведено, що гнейси утворилися близько 2,03 млрд років тому в результаті діафторезу порід архейського фундаменту, їх гранулітовий вигляд, а також субвертикальне залягання пов’язані з динамометаморфічними, в тому числі зсувними, процесами. Лінійність кварцу, польових шпатів, гранату та ін., шаруватість і кристалізаційна сланцюватість порід є вторинними і зумовлені силами стресу, орієнтованими в субгоризонтальній площині” [24, с. 47].

Заключение авторов о том, что лейкогранулитовая формация не является стратигенной (первичной вулканогенно-осадочной) по своему происхождению, и в связи с этим зеленолеводовскую толщу, как самостоятельное стратиграфическое подразделение, необходимо упразднить, не получило в статье убедительной аргументации. Для этого используются давно и хорошо известные явления, сопровождающие лейкогранулитовую формацию, такие как диафторез, кремне-щелочной метасоматоз и другие, которым авторы придают явно преувеличенное значение в формировании современного облика формации. Тем не менее, изложенные в статье доводы действительно могут породить у некоторых читателей сомнение в отношении правомерности выделения зеленолеводовской свиты. В связи с этим представляется целесообразным еще раз объяснить, что представляет собой лейкогранулитовая формация и ее стратиграфический эквивалент — зеленолеводовская свита.

Что такое лейкогранулитовая формация и зеленолеводовская свита. Как уже сказано выше, лейкогранулитовая формация, как самостоятельная суперкрупная формация, была первоначально выделена под названием “формация биотитовых и биотит-гранатовых гнейсов” [17]. Тогда же были указаны ее характерные отличительные признаки. “Главная особенность формации — резкое преобладание в ее составе биотитовых и биотит-гранатовых гнейсов; в незначительном количестве встречаются второстепенные члены — кристаллические сланцы и гиперстеновые гнейсы, а также силлиманитсодержащие гнейсы и кварциты. ... Облик гнейсов, слагающих формацию, довольно однообразен, их легко отличить от других суперкрупных пород побужского комплекса. Это среднезернистые серые, розовато-серые, иногда кирпично-красные гнейсы. Их гранатсодержащие разновидности в отличие от подобных образований кинцитговой формации имеют светлую окраску, более крупнозернистое строение и состав: первые существенно калишпатовые, вторые — плагиоклазовые. Характерным признаком формации является широкое развитие мигматитов и гранито-гнейсов по биотитовым и биотит-гранатовым гнейсам, чем она существенно отличается от других, в том числе со-

седних формаций. ... По-видимому, подверженность преобразованию в гранитоидные породы обусловлена не только интенсивностью процесса ультраметаморфизма, но и первичным составом пород” [17, с. 60].

Из петрографического описания в той же монографии [17] главных членов формации, составляющих до 90 % ее объема, следует, что они представляют собой двуполевошпатовые породы, и уже только этим – преобладанием калишпатсодержащих пород – она отличается от всех остальных формаций побужского комплекса. В биотитовых гнейсах биотит составляет 1–3 %, а в биотит-гранатовых гнейсах сумма темноцветных минералов обычно не превышает 5 %, иногда встречаются единичные зерна гиперстена. В химическом составе это выражается в содержании суммы ($\text{FeO} + \text{F}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$) всего до 1–1,5 вес. %. Такие породы правильнее называть не биотитовые и биотит-гранатовые гнейсы, а *лейкократовые двуполевошпатовые гнейсы с биотитом, гранатом, гиперстеном*. В них появление того или иного темноцветного минерала определяется минимальными изменениями соотношения Fe^{+} и Mg^{+} . Многие разновидности лейкократовых гнейсов вообще не содержат темноцветных минералов. В таких разностях особенно часто наблюдаются вытянутые пластинчатые обособления кварца. Эти разновидности лейкократовых гнейсов характерны *только для метаморфических пород гранулитовых комплексов*, в связи с чем они даже получили собственное петрографическое название “гранулит”. Именно как “лейкократовые гнейсы (гранулиты)” их описал в своей известной монографии Н. П. Щербак [32].

В основу приведенной здесь краткой характеристики формации, выполненной в монографии [17], положены материалы изучения формации в естественных обнажениях по долинам рек и в карьерах на территории Приднестровья и Среднего Побужья, где авторами неоднократно наблюдалось залегание рассматриваемой формации стратиграфически выше формации гиперстеновых гнейсов и кристаллических сланцев. Дальнейшее изучение формации на закрытых территориях позволило существенно дополнить ее характеристики. Большое значение в этом отношении имели результаты геологической съемки масштаба 1:50 000 в районе Павловских магнитных аномалий, проведенной в 1978–1980 годах под руководством Г. Г. Виноградова и В. В. Зюльцле, при участии А. М. Лысака и В. Г. Пашенко [19, 20].

По данным этих авторов, “в районе Павловской группы магнитных аномалий преобладающее площадное распространение имеют разнообразные гранитоиды, но среди них постоянно встречаются метаморфические образования. В разных частях района эта смешанная плутоно-метаморфическая ассоциация значительно отличается набором пород. Отчетливо обособляются крупные тела двух плутоно-метаморфических формаций – гнейсо-эндербитовой и гнейсо-аляскитовой. Первая составляет ядра антиклинальных складок, вторая слагает сопряженные с ними синклинали.

Основное содержание гнейсо-эндербитовой формации составляет парагенезис мелко-среднезернистых эндербитов и находящихся в них в виде включений пироксеновых плагиогнейсов, кристаллических сланцев и реже амфиболитов. Эндербиты представлены разновидностями плагиогранитного (преобладают), кварц-диоритового и диорито-

вого состава. Форма включений метаморфических пород линзовидная и пластообразная, мощность их изменяется от нескольких сантиметров до 2–3 м и более. Наблюдается ясно выраженная связь состава совместно залегающих метаморфических и плутонических образований. Среди “плагиогранитных” разновидностей эндербитов во включениях находятся плагиогнейсы, эндербиты кварц-диоритового и диоритового состава сопровождаются соответственно кварцсодержащими и безкварцевыми кристаллическими сланцами. Границы между плутоническими и метаморфическими породами, как правило, нечеткие, расплывчатые, обычные промежуточные разновидности, обладающие элементами структурно-текстурных особенностей как эндербитов, так и метаморфических образований.

Основное содержание гнейсо-аляскитовой формации определяет парагенезис весьма пестрых по структурно-текстурным особенностям, сравнительно лейкократовых биотитовых, часто ортопироксенсодержащих (местами встречаются разрозненные зерна граната) гранитов и находящихся в них в виде включений лейкократовых биотитовых, ортопироксен-, гранат-биотитовых и гранат-биотит-ортопироксеновых гнейсов. Это преобладающее в объеме формации сочетание пород повсеместно сопровождается наличием сравнительно маломощных (от первых метров до первых десятков метров) тел, сложенных пироксеновыми (часто с биотитом и местами с роговой обманкой) кристаллическими сланцами, плагиогнейсами и эндербитами. Количественные соотношения между этими разновидностями в таких телах изменчивы, чаще преобладают кристаллические сланцы, хотя нередко основной фон составляют эндербиты” [20, с. 100–101].

Несмотря на то, что на рассматриваемой площади преобладают не стратиграфические, а ультраметаморфические образования, описанные авторами как плутоно-метаморфические гнейсо-эндербитовая и гнейсо-аляскитовая формации, они полностью сохраняют свое структурное положение в разрезе и картируются как крупные стратиформные тела. Обе формации обнаруживают отчетливую унаследованность состава замещенных ими суперкрупных формаций: первая – формации гиперстеновых гнейсов и кристаллических сланцев, а вторая – биотитовых и биотит-гранатовых гнейсов, как она тогда еще называлась [17]. Унаследованность состава проявлена, как это видно из приведенного выше авторского описания, как в масштабах формаций в целом, так и на уровне отдельных чередующихся эндербитовых и лейкогранитовых пластовых тел.

При проведении геолого-съемочных работ в районе Павловских магнитных аномалий впервые для Среднего Побужья было четко установлено стратиграфическое положение пород, определяющих эти аномалии. Как выяснилось, в переходной части между формациями, наряду с характерными членами контактирующих формаций “принимают участие железистые кварциты, метаморфические и плутонического облика породы с кордиеритом и повышенным содержанием граната (нередко гранатиты), встречаются тела графитовых кристаллических сланцев и гнейсов, кальцифиров и обогащенных силлиманитом кристаллических сланцев” [20, с. 101]. Эта переходная часть имеет мощность 400–800 м. “Благодаря железистым кварцитам и сравнительно высокому содержанию (часто от 4 до 8 %) магнетита в других ассоциирующихся с ними разновидностях пород, эта часть формации трассируется повышенными значениями ΔZ на картах магнитных аномалий и хорошо прослеживается при

* “Гранулитами обычно называют кварц-полевошпатовые породы со специфической гранулитовой структурой (линзовидные кварцевые агрегаты в тонкокристаллической кварц-полевошпатовой массе). Характерным минералом гранулитов являются пироп-альмандиновый гранат, иногда гиперстен” [27, с. 410]

геологическом картировании. Постоянно отчетливо устанавливается, что она окаймляет выходы эндербитовой формации” [20, с. 101–102]. Появление в переходной части между формациями различных пород, отличающихся по составу от гранитоидных, придало ей еще более отчетливо выраженное пластовое строение, вероятнее всего, судя по составу, – унаследованное слоистое, что позволило выделить в ее разрезе восемь ритмов мощностью от 55 до 115 м [20].

Несмотря на пограничное, переходное положение этой пестрой по составу части разреза, в которой переслаиваются главные члены обеих формаций, она была, тем не менее, отнесена авторами к вышележащей гнейсо-аляскитовой формации [20], что, как показано ниже, представляется вполне оправданным. Одновременно с установлением стратиграфического положения магнетитосодержащих пород в разрезе Побужья, в связи с общим упорядочением геолого-формационной терминологии, формация биотитовых и биотит-гранатовых гнейсов была переименована в “лейкогранулитовую формацию” [12]. Это наименование призвано отразить “такие отличительные признаки, как общая лейкократовость, принадлежность к гранулитовому комплексу, что устанавливается по достаточно частым прослоям гиперстеносодержащих пород, и гранулитоподобный облик гнейсов с характерными вытянутыми зернами кварца” [12, с. 97]. Здесь же, со ссылкой на материалы А. М. Лысака и соавторов [20], указывалось, что “к площадям распространения лейкогранулитовой формации приурочена основная масса магнитных аномалий Среднего Побужья, обусловленных наличием пачек пестрого состава с участием магнетитосодержащих пород и приуроченных, как правило, к нижней части разреза формации” [12, с. 97].

Отнесение этой “пестрой” магнетитосодержащей части к лейкогранулитовой формации обусловлено тем, что в ней впервые в разрезе побужского комплекса появляются очень характерные и определяющие ее состав лейкократовые двуполевошпатовые гнейсы. Они отсутствуют как в нижележащей эндербито-гнейсовой формации, так и в кинцигитовой формации. В этих формациях иногда встречаются сходные по составу так называемые “аплито-пегматоидные граниты”, как в виде секущих, так и согласных тел, а также локальные проявления кварц-калишпатового метасоматоза. Однако все эти проявления резко отличаются по внешнему виду от гранулитоподобных гнейсов лейкогранулитовой формации.

После выявления этой “пестрой” части разреза днестровско-бугской серии, высказывались предложения об отнесении ее к тывровской свите или возможном разделении последней на две толщи: “Нижнюю – тывровскую – слагают преимущественно кристаллосланцы двупироксеновые и амфибол-двупироксеновые. Для верхней – павловской толщи – характерен следующий набор метаморфических пород: кристаллосланцы (гнейсы) магнетит-двупироксеновые, иногда с амфиболом, гнейсы магнетит-двупироксеновые, гиперстеновые, железистые кварциты, кристаллосланцы двупироксеновые, гнейсы магнетит-гранат-гиперстеновые” [22, с. 41]. В итоге, павловская толща по предложению В. В. Зюльцле и была выделена в стратиграфической схеме УСЦ как самостоятельное подразделение, что вряд ли оправдано. Эта часть разреза не выдержана по простиранию. Как отмечает сам В. В. Зюльцле, “для толщи характерна изменчивость мощности, а часто и полное выклинивание” [11, с. 13]. На невыдержанность по простиранию и выклинивание павловской толщи указывают и И. М. Этингоф с соавторами, отмечая, что “зеленолевадовская толща ... залегает как на павловской, так и на тывровской толщах” [34, с. 4].

Такие латерально невыдержанные и иногда исчезающие из единого разреза части обычно не выделяют как самостоятельные стратиграфические подразделения, но они могут рассматриваться в качестве фациально изменчивых и местами выклинивающихся подсвит, в данном случае – как нижняя подсвита в составе зеленолевадовской свиты.

Название “зеленолевадовская свита” первоначально было введено для обозначения “формации биотитовых и биотит-гранатовых гнейсов” [17, с. 233], как ее стратиграфического эквивалента для всего побужского комплекса. Позднее предлагалось использовать это название только для территории Среднего Побужья, а для Приднестровья, входящего в состав другой структурной области (Подольского мегаблока), для лейкогранулитовой формации в качестве стратиграфического аналога “зеленолевадовской свиты” было предложено наименование “черневская свита” [12, 15]. Однако, в стратиграфической схеме УСЦ 1984 года, в которую зеленолевадовская свита была впервые включена в ранге толщи, она показана в составе днестровско-бугской серии, как общее подразделение для всего Днестровско-Бугского района [31, 34]. И в этом качестве она используется уже свыше 35 лет в стратиграфических схемах УСЦ, нашла свое отражение на “Карте геологических формаций докембрия Украинского щита”, на геологических картах разного масштаба, в том числе на ГК-200, описана многими геологами-съемщиками и получила широкое распространение в научной литературе [2, 30, 33].

Следует особо подчеркнуть, что лейкогранулитовая формация, и соответствующая ей зеленолевадовская свита, по своему породному составу является наиболее разнообразным стратиграфическим подразделением побужского комплекса. Кроме явно преобладающих в ней лейкократовых двуполевошпатовых гнейсов, составляющих не менее 80 % объема формации, по всему разрезу встречаются прослои и пачки высокоглиноземистых пород, представленных кордиритсодержащими (12–20 вес. % Al_2O_3) и силлиманитсодержащими (21–38 вес. % Al_2O_3) гнейсами и кристаллическими сланцами. Они составляют единый петропарагенезис с лейкократовыми гнейсами [13]. Иногда с ними ассоциируют маломощные (дециметры – первые метры) прослои кварцитов. Также по всему разрезу содержатся отдельные пласты и пачки переслаивания гиперстеновых плагиогнейсов и кристаллических сланцев, аналогичных по составу типичным породам подстилающей эндербито-гнейсовой формации, а к верхней части разреза приурочены пластовые и линзовые тела основных (метабазиты) и ультраосновных (метаультрабазиты) кристаллических сланцев [13].

Породное сообщество, получившее название “лейкогранулитовая формация” и соответствующая ей зеленолевадовская свита, и раньше в близком объеме выделялось рядом исследователей в качестве свит и формаций. Впервые это сообщество было выделено О. И. Слензаком как русавская свита, самая верхняя в разрезе “чарнокитовой серии Приднестровья” [26]. В ее составе “широко развиты и образуют как бы основной фон розовые среднезернистые граниты (гранулиты) с заключенными в них пластовыми телами пироксено-плагиоклазовых гнейсов, часто в различной степени амфиболизованных, и амфиболитов. Вокруг тел пироксено-плагиоклазового гнейса в виде относительно маломощных ореолов наблюдаются чарнокиты. ... Для всех пород характерно наличие полосчатых текстур, обусловленных послонно-линзовидным скоплением темноцветных и лейкократовых минералов. В гранитах имеются линзы голубовато-серого кварца и пегматоидные выделения.

Между всеми разновидностями пород устанавливаются постепенные переходы. Характерной особенностью этой свиты является сравнительно малая распространенность чарнокитов. Последние образуют обычно сравнительно маломощные ореолы вокруг тел пироксено-плагиоклазового гнейса, причем почти всегда амфиболитизированного. Примечательно также наличие крупнозернистых розовых и зеленовато-серых, слегка порфиоровидных, гранитов. ... Следует отметить также присутствие в гранитах неправильной формы участков розовых, обогащенных биотитом, пегматоидных гранитов, полосчатость которых хотя и одинаково ориентирована с полосчатостью вмещающих гранитов, однако выражена слабо” [26, с. 28–29].

В Среднем Побужье в объеме зеленолевадовской свиты А. Я. Древин выделил среднюю или чаусовскую свиту [9, 10]. Под ней понималась “толща розовых и розово-серых мигматитов с согласными пластовыми телами аплит-пегматоидных розовых гранитов. Среди мигматитов встречаются линзо- и пластообразные согласные с мигматитами прослой биотит-плагиоклазовых гнейсов и метабазитов ... Метабазиты (пироксен-плагиоклазовые, амфибол-плагиоклазовые гнейсы, габбро-амфиболиты, амфиболиты) ... обычно по простиранию сменяются чарнокитами” [10, с. 95]. В составе чаусовской свиты А. Я. Древин выделял два опорных горизонта – кошаро-александровский и молдово-тарноватский. Первый из них состоит “из характерного набора метаморфизованных парапород, представленных кордиерит-силлиманит-гранат-полевошпатовыми, кварц-гранат-полевошпатовыми, биотит-графитовыми гнейсами, кварцитами и мигматитами по гнейсам. Незначительное развитие имеют метабазиты и серпентинизированные пироксены, залегающие согласно с вмещающими их гнейсами” [10, с. 95]. Что касается молдово-тарноватского горизонта, то, по мнению А. Я. Древины, “литологический состав и строение его аналогично кошаро-александровскому горизонту, но отличается присутствием кристаллических известняков и связанных с ними скарнов (кварц-гранат-гиперстен-магнетитовых пород)” [10, с. 95].

Что касается “кошаро-александровского горизонта”, то под этим названием после доизучения была выделена самостоятельная свита [1, 4]. А. Я. Древин считал его опорным горизонтом на том основании, что прослой и пачки характерного состава – кварцитов и высокоглиноземистых пород – неоднократно наблюдались автором, а впоследствии и другими исследователями [5, 25 и др.], среди гнейсов и мигматитов чаусовской свиты. К числу подобных образований, расположенных внутри свиты, был ошибочно отнесен и крупный выход в с. Кошаро-Александровка, который, как выяснилось позднее, входит в состав вышележащей самостоятельной свиты, мощностью 800–1200 м [4]. “Молдово-тарноватский опорный горизонт” А. Я. Древина, очевидно, соответствует нижней “пестрой” части зеленолевадовской свиты, с той лишь разницей, что по современным данным она относится не к верхней, а к нижней части свиты.

Мощность чаусовской свиты А. Я. Древин определил в 600–1750 м. Как установлено позднее, она явно занижена и составляет не менее 3000–3500 м. Кроме выделения свиты как самостоятельного стратиграфического подразделения, автор сделал вывод, что “наличие в составе свиты карбонатных, кремнистых, углистых и высокоглиноземистых пород, а также базитов и ультрабазитов позволяет отнести эту толщу к базит-карбонатно-кремнисто-углисто-глинистой формации” [10, с. 95]. Важность этого заключения А. Я. Древина состоит в том, что он фактически признал парагенетическое формационное единство всех пород свиты и ее существенно осадочную природу.

Позднее Г. Г. Виноградов примерно в том же объеме, по району наилучшей обнаженности (с. Синицковка на р. Синице), выделил синицковскую свиту, как толщу “преимущественного развития биотитовых, большей частью мигматизированных парагнейсов. ... Мощность толщи не менее 4 км. Характерные черты ее: а) монотонность в пространстве и времени; б) приуроченность интрузивных тел габброидов и ультрабазитов ... к верхним горизонтам толщи” [4, с. 358]. Следует подчеркнуть, что А. Я. Древин тоже отмечал наличие базитов и ультрабазитов в составе чаусовской свиты, а также выделял самостоятельную верхнюю свиту метабазит-метаультрабазитового состава, которую считал офиолитовой формацией. Однако ее стратиграфическая самостоятельность, как и формационная принадлежность, впоследствии не подтвердились.

Г. Г. Виноградов, как и А. Я. Древин, считал свиту в основном первично осадочной. Такого же мнения о происхождении лейкократовых гнейсов придерживался В. М. Венидиктов, который обстоятельно изучал эти породы в пределах Приднестровья и называл их “лептиты” и “лептитовые гнейсы”. “Лептиты, лептитовые гнейсы и связанные с ними перекристаллизованные кварц-полевошпатовые породы, известные под названием розовых аплит-пегматоидных гранитов, – одна из самых распространенных групп пород в докембрии юго-западной части УЩ. Они составляют большую часть бугско-днестровской серии ... Лептиты и лептитовые гнейсы чаще всего наблюдаются в виде отдельных участков среди розовых неравнозернистых гранитов, реже представлены линзами и полосами, входящими в состав пестрых метаморфических толщ ... Нередко для них характерна перемежаемость с парапорадами ... наблюдалось их тонкое чередование с двупироксеновыми и глиноземистыми гнейсами, ... с биотит-гранатовыми и силлиманит-кордиерит-биотитовыми гнейсами, ... с кальцифирами и кварцитами” [3, с. 47].

Вместе с тем, В. М. Венидиктов, работы которого отличаются объективностью и скрупулезностью, как бы предвидя возможные возражения в отношении природы лейкократовых гнейсов, сам задает вопрос: “каким образом устанавливается лептитовая природа этих образований?” [3, с. 47]. Этот вопрос вызван тем, что во многих случаях тектонически измененные, расщепленные и перекристаллизованные граниты действительно имеют облик лейкократовых гнейсов. Но, рассмотрев этот вопрос, автор в итоге приходит к заключению, что “наблюдаются первичные взаимоотношения и структурно-текстурные признаки пород, свидетельствующие, по мнению автора, о метаморфическом (лептитовом) происхождении кислых кварц-полевошпатовых пород” [3, с. 48]. А в некоторых случаях автор, как бы подтверждая свои выводы, даже отмечает, что “по облику лептиты похожи на метааркозы” [3, с. 14].

Наряду с лептитами, под которыми В. М. Венидиктов понимает “мелко-тонкозернистые лейкократовые кварц-полевошпатовые породы с небольшим количеством биотита (не более 3–5 %)” [3, с. 47], автор различает гранулиты и гранулитовые гнейсы. Они “по структурно-текстурным признакам и происхождению аналогичны лептиту и лептитовым гнейсам, отличаясь от них только наличием граната или (реже) кордиерита в качестве главного породообразующего минерала” [3, с. 53] при том же незначительном (до 5 %) их содержании.

Геологическое, петрографическое и петрохимическое изучение лейкогранулитовой формации Среднего Побужья (зеленолевадовская свита) и ее сравнение с аналогичной фор-

мацією Приазов'я (центральноприазовська серія) виконав В. Г. Пащенко [21]. Її дослідження показали, що, незважаючи на високу ступінь ультраметаморфічних перетворень, в цих подразделениях часто зберігаються елементи ритмічного строєння, своїйственні стратигенним толщам. А виконана на основі петрохімічних характеристик "реконструкція первинного складу суперкрудальних порід показала первинно осадову природу двупольовошпатових гнейсів і більшої частини плагіогнейсів і кристалосланців. В деяких різновидностях останніх можливо наявність вулканогенного матеріалу в цілому до його преобладання, і в цьому випадку вони інтерпретуються як туффіти. ... Таким чином, розглядаємою нами суперкрудальну асоціацію порід можна реконструювати як первинно осадову товщу з примісью вулканогенного матеріалу" [21, с. 13].

Обробка обширного аналітичного матеріалу з застосуванням факторного аналізу дала можливість В. Г. Пащенко уточнити склад вихідного матеріалу лейкогранулітової формації. По висновку автора, "протоліти двупольовошпатових гнейсів, згідно петрохімічної класифікації А. Н. Неєлова (1977), відповідають аркозам піщанистої і алевролітової розмірності. Вихідні породи плагіогнейсів являлись граувакками алевролітової розмірності і алевропелітовими аргілітами. Протоліти кристалічних сланців діагностуються в основному як карбонатисті і залізисті алевропелітові і пелітові аргіліти. В деякій частині, можливо, була приміс вулканогенного матеріалу, в цілому до преобладання в окремих випадках (туффіти основного і середнього складу)" [21, с. 13].

В період останніх десятиліть на території розвитку лейкогранулітової формації були проведені роботи по складанню двох листів Державної геологічної карти України масштабу 1:200 000 (ДГК-200) – М-36-XXXI (Первомайськ) і М-35-XXXVI (Гайворон). Незважаючи на інтенсивний ультраметаморфізм, проявлений на всій території Первомайського листа, його автори, тим не менше, виділяють тут зеленолевадовську товщу. В пояснювальній записці до карти сказано, що зеленолевадовська товща – це "у більшості випадків невеликі (в середньому 4х1 км) лінзоподібні та неправильної форми останці серед гранітоїдів побужького комплексу. ... У складі цієї товщі переважають гранат-біотитові, біотитові гнейси (плагіогнейси) в основному лейкократового вигляду, в яких спостерігаються прошки ортопироксенових і роговообманково-двопироксенових кристалосланців. Кількісні співвідношення біотитових і гранат-біотитових різновидів між собою не встановлено, зазвичай вони перешаровуються між собою, не виявляючи чітких контактів" [7, с. 18]. Автори не тільки описують метаморфічні породи, відносячись до зеленолевадовської товщі, але й роблять спробу відновлення їх вихідного дометаморфічного складу. Вони відзначають, що "за даними петрохімічного аналізу важко дати однозначне визначення протоскладу метаморфітів товщі. На класифікаційній діаграмі Le Maitre описані породи відповідають дацитам та вапнисто-лужним ріолітам, а за реконструкцією за методом О. О. Предовського можна зробити висновок, що метаморфізму підлягали полімікти" [7, с. 19].

Звертає на себе увагу ще одне важливе висновок авторів: "Слід відзначити характер гранітизації метаморфітів дніпровсько-бузької серії. Якщо утворення тиврівської товщі інтенсивно ендербітизовані і часто в її розрізах значну частину (іноді до половини) складають ен-

дербіти, ендербіт-мігматити, ортопироксенові та біотит-ортопироксенові плагіограніти гайворонського комплексу, то метаморфіти павлівської і особливо зеленолевадовської товщі в основному гранітизовані" [7, с. 16].

Автори Гайворонського листа так же виділяють зеленолевадовську товщу, характеризує її наступним чином: "Суперкрудальні утворення зеленолевадовської товщі мають широкий розвиток у межах вивченої території, але внаслідок специфіки первинного її складу масштаб останців товщі дуже обмежений і здебільшого не може бути показаний у масштабі геологічної карти. Така ситуація зумовлена переважанням у первинному розрізі товщі лейкократових двопольовошпатових гнейсів, які у результаті ультраметаморфізму перетворені практично повністю на лейкократові граніто-гнейси. Тому звичайне переважання в останніх порід товщі пироксенових плагіогнейсів і кристалосланців, яке спостерігається нині, не відображає її первинного складу" [6, с. 15].

В цій же записці автори роблять наступне важливе обобщення, як для геологічної зйомки, так і для розуміння геологічного розвитку регіону, витікає з практики регіональних робіт останніх десятиліть: "первинний склад і особливості товщі дніпровсько-бузької серії можна реконструювати лише при вивченні співвідношень стратигенних і ультраметаморфічних утворень (курсиви наш. – В. К. і А. Л.). Такий аналіз свідчить про те, що первинний розріз серії характеризувався переважанням пироксенових плагіогнейсів над кристалосланцями і значною роллю лейкократових, здебільшого двопольовошпатових гнейсів. У результаті процесів ультраметаморфізму пироксенові плагіогнейси значною мірою були перетворені в ендербіти переважно плагіогранітової складу, а двопольовошпатові пироксенвісні, часто з гранатом гнейси майже повністю перетворені на лейкократові граніто-гнейси, які у ході подальшої еволюції часто переходили у гнейсоподібні граніти або пегматоїдного типу гранітоїди" [6, с. 11]. Цей останній висновок надзвичайно важливий для розуміння протиріччя, пов'язаного з природою і структурно-речовинною еволюцією лейкогранулітової формації і її стратиграфічного еквівалента зеленолевадовської свити.

Висновок. За майже півстоліття, що минуло після виділення суперкрудальної формації біотитових і біотит-гранатових гнейсів [16], переименованої пізніше в лейкогранулітову формацію [12], і сама формація, і відповідне їй стратиграфічне подразделение – зеленолевадовська товща – були достатньо ретельно вивчені і отримали практично загальне визнання. Об цьому свідчить в першу чергу включення зеленолевадовської товщі, починаючи з 1984 року, в стратиграфічні схеми докембрія УСЦ і її підтвердження результатами наступного геологічного картирування. Головним визначальним ознакою лейкогранулітової формації є преобладання в ній лейкократових двупольовошпатових гнейсів, поряд з якими містяться пироксеносодержачі плагіогнейси і кристалічні сланці, аналогічні головним членам підстилаючої ендербіто-гнейсової формації, і ряд інших петротипів [13]. Серед них також встановлені кварцити і високоглиноземисті породи, що складають основне вміст висхідної кошаро-александрівської свити.

Лейкогранулітова формація в авторському розумінні [12, 20] включає дві частини: а) нижню, не віддану по простору, потужність якої змінюється від 400–800 м до повного вичерпання; в цій частині поряд з переліченими головними членами лейкогранулітової і ендербіто-гнейсової

формаций содержатся разнообразные магнетитосодержащие, в том числе специфические карбонатно-магнетитовые породы; б) *верхнюю* – доминирующих лейкократовых гнейсов, мощность которой составляет не менее 3000–3500 м. Именно в таком объеме для нее было предложено название зеленолеводовская свита [12, 15, 17]. Но в утвержденную стратиграфическую схему УЩ [31, 34] эти части были включены в виде двух самостоятельных подразделений: нижняя, как павловская толща, с явно увеличенной мощностью (около 1,5 км), а верхняя, как зеленолеводовская толща, мощностью более 3 км [34]. При этом за обоими подразделениями сохранялась их стратиграфическая сущность и согласное залегание в составе днестровско-бугской серии.

И вот после стольких десятилетий активного использования этих образований и в качестве геолого-формационного, и стратиграфического подразделений, реальность их существования вдруг поставлена под сомнение [24, 28, 29]. Доводы авторов в подтверждение этого на фоне изложенного выше выглядят очень неубедительно. И, тем не менее, для объективности освещения поднятой темы о происхождении лейкогранулитовой формации и ее стратиграфическом значении, эти доводы следует рассмотреть и обсудить, чему и посвящена наша следующая статья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков Ю. Б., Булаевский Д. С., Зайцев А. А., Киктенко В. Ф., Козловская Г. Н., Колосовская В. А., Коньков Г. Г., Куделя В. А., Лебедев М. И., Пастухов В. Г., Полуновский Р. М. Стратиграфическая схема докембрийских образований Украинского щита//Геол. журн. – 1970. – Т. 30 – № 4. – С. 139–148.
2. Бобров О. Б., Сиворонов А. О., Меркушин И. Е., Гурский Д. С., Бакаражев А. Х., Маківчук О. Ф., Скакун Л. З., Гнущенко Н. О., Ляхов Ю. В., Фаворов В. О., Сергієнко В. М., Шевчук В. М. Майське золоторудне родовище (геологія, речовинний склад руд, модель утворення). – Дніпропетровськ, 2000. – 168 с.
3. Вендиктов В. М. Докембрий Придністров'я і деякі проблеми геології Українського щита. – Київ: Наук. думка, 1978. – 162 с.
4. Виноградов Г. Г. О генезисе пироксеновых гнейсов и некоторых вопросах стратиграфии докембрия Среднего Побужья//Петрография докембрия Русской платформы. – Киев: Наук. думка, 1970. – С. 352–357.
5. Горошиников Б. И. Петрология высокоглиноземистых кристаллических пород докембрия Украины. – Киев: Наук. думка, 1971. – 210 с.
6. Державна геологічна карта України масштаб 1:200 000. Серія Центральноукраїнська. Аркуш М-35-XXXVI (Тайворон). Пояснювальна записка/В. В. Кислюк, В. В. Зюльцле, З. М. Дорковська, Л. В. Гук, В. В. Бондаренко, Г. Й. Чернецька, Л. П. Нікіташ, Г. В. Кислюк. – Київ: Північгеологія, 2011. – 116 с.
7. Державна геологічна карта України масштаб 1:200000. Серія Центральноукраїнська. Аркуш М-36-XXXI (Первомайськ). Пояснювальна записка/В. М. Клочков, Я. П. Білинська, Ю. М. Веклич, Ю. К. Пійяр, І. І. Мараховська, О. М. Шевченко, С. В. Клочков, О. М. Пилипчук, І. К. Пашкевич, С. С. Красовський, М. І. Орлюк, О. І. Лукієнко. – Київ: УкрДГПРІ, 2004. – 175 с.
8. Докладная записка по уточнению корреляционной стратиграфической схемы докембрийских образований Украинского щита/И. М. Этингоф, Я. П. Билинская, Б. З. Берзенин, С. В. Бухарев, К. Е. Есипчук, В. И. Орас, Ю. К. Пийяр, В. И. Пилипенко, В. Н. Соловйский, Г. П. Хворова, И. Б. Щербаков. – Киев: Мингео УССР, 1983. – 51 с.
9. Древин А. Я. Опыт изучения докембрия Среднего Побужья на основе литолого-структурного метода//Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 2. – Москва: Недра, 1967. – С. 88–96.
10. Древин А. Я. Структура, стратиграфия Среднего Побужья и поисковые критерии на силикатный никель. Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Киев, 1966. – 23 с.
11. Зюльцле В. В. К вопросу о стратиграфии докембрийских образований юго-западной части Украинского щита//Геол. журн. – 1986. – Т. 46. – № 3. – С. 10–18.
12. Кирилюк В. П. Стратиграфия докембрия западной части Украинского щита. Статья 1. Стратиграфические комплексы докембрия и формации раннего архея//Геол. журн. – 1982. – Т. 42. – № 3. – С. 88–103.
13. Кирилюк В. П., Богданова М. И., Савина Е. И. Петропарагенезисы и возможная природа суперкрупных формаций побужского гранулитового комплекса (западная часть Украинского щита). Статья 2. Петропарагенезисы суперкрупных формаций и типоморфные признаки петротипов//Мінерал. журн. – 2019. – Т. 41. – № 2. – С. 79–94.
14. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка)/К. Ю. Есипчук, О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, М. П. Щербак, Є. Б. Глеваський, В. М. Скобелев, А. С. Дранник, М. В. Гейченко. – Київ: УкрДГПРІ, 2004. – 30 с.
15. Лазько Е. М., Кирилюк В. П., Лысак А. М., Сиворонов А. А., Яценко Г. М. Стратиграфическая схема нижнего докембрия Украинского щита (на формационной основе)//Геол. журн. – 1986. – Т. 46. – № 2. – С. 18–26.
16. Лазько Е. М., Кирилюк В. П., Сиворонов А. А., Яценко Г. М. Геологические комплексы докембрия юго-западной части Украинского щита и принципы их выделения//Сов. геол. – 1970. – № 6. – С. 28–43.
17. Лазько Е. М., Кирилюк В. П., Сиворонов А. А., Яценко Г. М. Нижний докембрий западной части Украинского щита. (Возрастные комплексы и формации). – Львов: Вища школа, 1975. – 239 с.
18. Легенда Геологической карты Украины масштаба 1:200 000. Серия Центрально-Украинская. Объяснительная записка/Я. П. Билинская, Б. Д. Возгрин, В. М. Клочков, Ю. К. Пийяр, Д. А. Сидорова, В. Н. Соловйский, Г. П. Хворова. – Киев: ГГП “Геопрогноз”, 1996. – 26 с.
19. Лысак А. М., Пащенко В. Г., Зюльцле В. В. Формационная принадлежность и стратиграфическое положение железо-кремнистых образований Павловской группы магнитных аномалий (Среднее Побужье)//Геол. журн. – 1983. – Т. 43. – № 5. – С. 99–109.
20. Лысак А. М., Пащенко В. Г., Зюльцле В. В. Эндербитовая и лейкогранитовая плутоно-метаморфические формации (опыт картирования)//Петрология литосферы и рудоносность. – Ленинград: ВСЕГЕИ, 1981. – С. 208–209.
21. Пащенко В. Г. Гнейсо-лейкогранитовая ассоциация Украинского щита (формационный состав, геологическое положение). Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Львов, 1997. – 20 с.
22. Пийяр Ю. К., Клочков В. М., Пастухов В. Г. Некоторые вопросы стратиграфии докембрийских метаморфических образований Подольского блока и Голованевской шовной зоны//Геол. журн. – 1983. – Т. 43. – № 5. – С. 39–44.
23. Половинкина Ю. Ир. О происхождении кордиеритовых гранитов – бердичевский “гранит” Украины//Петрографический сборник. Труды ВСЕГЕИ. – 1963. – Т. 98. – №5. – С. 115–121.
24. Пономаренко А. Н., Гинтов О. Б., Степанюк Л. М. О так называемых “лейкогранулитовой формации” и “зеленолеводовской свите” раннего докембрия Украинского щита//Геофиз. журн. – 2018. – Т. 40. – № 5. – С. 47–70.
25. Рябенко В. А., Моськина О. Д., Злобенко И. Ф. Углеродистая формация западной части Украинского щита. – Киев: Препринт ИГН АН УССР, 1980. – 52 с.
26. Слензак О. И. Чарнокиты Придністров'я і деякі інші питання петрології. – Киев: Изд-во АН УССР, 1960. – 212 с.
27. Справочник по петрографии Украины (магматические и метаморфические породы). Под редакцией И. С. Усенко/И. С. Усенко, К. Е. Есипчук, И. Л. Личак, В. А. Слипенченко, В. А. Цуканов. – Киев: Наук. думка, 1975. – 579 с.
28. Степанюк Л. М. Коментарі до “Відкритого листа членам Бюро Національного стратиграфічного комітету України та геологам-докембристам” В. П. Кирилюка//Геол. журн. – 2017. – № 4. – С. 100–112.
29. Степанюк Л. М. Проблеми стратиграфії та геохронології Українського щита//Мінерал. журн. – 2018. – Т. 40. – № 1. – С. 16–31.
30. Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита/Н. П. Щербак, К. Е. Есипчук, Б. З. Берзенин, Е. Б. Глеваський, А. С. Дранник, Ю. К. Пийяр, Р. М. Полуновский, Т. А. Скаржинская, В. Н. Соловйский, И. М. Этингоф, Я. П. Билинская, В. И. Ганюцкий, Г. Ф. Гузенко, А. С. Киселев, В. М. Клочков, В. В. Решетняк, Н. И. Босая, Г. С. Воронова, В. И. Пилипенко. – Киев: Наук. думка, 1985. – 168 с.
31. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских образований Украинского щита для геологических карт масштаба 1:50 000 (1:25 000). Е. А. Асеева, Я. П. Билинская, Б. З. Берзенин,

Н. Д. Березина, С. В. Бухарев, М. Ф. Веклич, В. М. Веклич, В. А. Великанов, Г. П. Хворова, И. Б. Щербakov, И. М. Этингоф, И. М. Ямниченко. – Киев, 1986. – 122 с.

32. Щербakov Н. П. Петрология и геохронология докембрия западной части Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1975. – 271 с.

33. Щербakov И. Б. Петрология Украинского щита. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 364 с.

34. Этингоф И. М., Соловицкий В. Н., Есипчук К. Е., Билинская Я. П., Берзенин Б. З., Бухарев С. В., Пийяр Ю. К., Пилипенко В. И., Хворова Г. П., Орса В. И., Щербakov И. П. Об изменениях в корреляционной стратиграфической схеме докембрийских образований Украинского щита//Геол. журн. – 1986. – Т. 46. – № 3. – С. 3–6.

REFERENCES

1. Babkov Ju. B., Bulaevskij D. S., Zajcev A. A., Kiktenko V. F., Kozlovskaya G. N., Kolosovskaya V. A., Konkov G. G., Kudelya V. A., Lebedev M. I., Pastuhov V. G., Polunovskiy R. M. Stratigraphic Scheme of Precambrian formations of the Ukrainian shield//Geol. zhurn. – 1970. – Vol. 30. – № 4. – P. 139–148. (In Russian).

2. Bobrov O. B., Sivoronov A. O., Merkushyn I. Ye., Hurskyi D. S., Bakarchiiev A. Kh., Makivchuk O. F., Skakun L. Z., Hnutenko N. O., Liakhov Yu. V., Favorov V. O., Serhiienko V. M., Shevchuk V. M. May gold deposit (geology, material composition of ores, model of formation). – Dnipropetrovsk, 2000. – 168 p. (In Ukrainian).

3. Venidiktov V. M. Precambrian of Dniester Area and some geological issues of Ukrainian shield. – Kiev: Naukova dumka, 1978. – 162 p. (In Russian).

4. Vinogradov G. G. About genesis pyroxene-gneisses and some questions of the Precambrian stratigraphy of Middle Bug Area//Петрографія докембрію Русскої платформи. – Киев: Naukova dumka, 1970. – P. 352–357. (In Russian).

5. Goroshnikov B. I. Petrology of high-aluminous crystalline breeds of the Precambrian of Ukraine. – Kiev: Naukova dumka, 1971. – 210 p. (In Russian).

6. State geological map of Ukraine of scale 1:200000. Central Ukrainian series. M-35-XXXVI (Haivoron) Explanatory message/V. V. Kysliuk, V. V. Ziultsle, Z. M. Dorkovska, L. V. Huk, V. V. Bondarenko, H. Y. Chernetska, L. P. Nikitash, H. V. Kysliuk. – Kyiv: Pivnichneolohiia, 2011. – 116 p. (In Ukrainian).

7. State geological map of Ukraine of scale 1:200 000. Central Ukrainian series. Sheet M-36-XXXI (Pervomaisk). Explanatory message/V. M. Klochkov, Ya. P. Bilynska, Yu. M. Veklych, Yu. K. Piiar, I. I. Marakhovska, O. M. Shevchenko, S. V. Klochkov, O. M. Pylypchuk, I. K. Pashkevych, S. S. Krasovskiy, M. I. Orliuk, O. I. Lukiienko. – Kyiv: UkrDHRI, 2004. – 175 p. (In Ukrainian).

8. The report to elaborate on the correlation stratigraphic scheme of Precambrian formations of the Ukrainian shield/I. M. Jetingof, Ya. P. Bilynskaya, B. Z. Berzenin, S. V. Buharev, K. E. Esipchuk, V. I. Orsa, Ju. K. Pijyar, V. I. Pilipenko, V. N. Solovickij, G. P. Hvorova, I. B. Shherbakov. – Kiev: Ministerstvo geologii USSR, 1983. – 51 p. (In Russian).

9. Drevin A. Ja. Results of studying the Precambrian of Middle Bug Area on the basis of lithological-structural method//Problemy osadochnoj geologii dokembrija. Iss. 2. – Moskva: Nedra, 1967. – P. 88–96. (In Russian).

10. Drevin A. Ja. Structure, stratigraphy of the Middle Bug Area and prospecting criteria on silicious nicol. Author's abstract of dissertation ... cand. geol.-min. sciences. – Kiev, 1966. – 23 p. (In Russian).

11. Zjulcle V. V. On the issue of stratigraphy of Precambrian formations of the south-western part of the Ukrainian shield//Geol. zhurn. – 1986. – Vol. 46. – № 3. – P. 10–18. (In Russian).

12. Kyrylyuk V. P. Stratigraphy of Precambrian of western part of the Ukrainian shield. Article 1. Stratigraphic complexes of Precambrian and formations of Early Archean//Geol. zhurn. – 1982. – Vol. 46. – № 3. – P. 88–103. (In Russian).

13. Kyrylyuk V. P., Bogdanova M. I., Savina E. I. Petroparageneses and possible origin of the Bug Area granulite complex supercrustale formations (Western Part of Ukrainian shield). Article 2. Petroparageneses of the supercrustal formations and typomorphic features of petrotypes//Mineral. zhurn. – 2019. – Vol. 41. – № 1. – P. 79–94. (In Russian).

14. Correlation chronostratigraphic scheme of Early Precambrian of the Ukrainian shield (explanatory note)/K. Yu. Yesypchuk, O. B. Bobrov, L. M. Stepaniuk, M. P. Shcherbak, Ye. B. Hlevaskyi, V. M. Skobeliev, A. S. Drannyk, M. V. Heichenko. – Kyiv: UkrDHRI, 2004. – 30 p. (In Ukrainian).

15. Lazko E. M., Kyrylyuk V. P., Lyssak A. M., Sivoronov A. A., Yatsenko H. M. Lower Precambrian stratigraphic scheme of the Ukrainian

shield (on formational basis)//Geol. zhurn. – 1986. – Vol. 46. – № 2. – 18–26. (In Russian).

16. Lazko E. M., Kyrylyuk V. P., Sivoronov A. A., Jacenko G. M. Geological complexes of the Precambrian of southwest part of the Ukrainian shield and principles of their allocation//Sovetskaya geologiya. – 1970. – № 6. – P. 28–43. (In Russian).

17. Lazko E. M., Kyrylyuk V. P., Sivoronov A. A., Jacenko G. M. Lower Precambrian of the western part of the Ukrainian shield. (Age complexes and formations). – Lvov: Vyscha shkola, 1975. – 239 p. (In Russian).

18. Legend of the Geological Map of Ukraine in scale 1: 200 000. Central Ukrainian series/Ja. P. Bilynskaya, B. D. Vozgrin, V. M. Klochkov, Ju. K. Pijyar, D. A. Sidorova, V. N. Solovickij, G. P. Hvorova. – Kiev: GGP “Geoprognoz”, 1996. – 26 p. (In Russian).

19. Lyssak A. M., Pashhenko V. G., Zjulcle V. V. The formational affiliation and stratigraphic position of the iron-siliceous formations of the Pavlovsk group of magnetic anomalies (the Middle Bug Area)//Geol. zhurn. – 1983. – Vol. 43. – № 5. – P. 99–109. (In Russian).

20. Lyssak A. M., Pashhenko V. G., Zjulcle V. V. Enderbitic and leucogranite plutono-metamorphic formations (mapping experience//Petrologiya litosfery i rudosnost. – Leningrad: VSEGEI, 1981. – P. 208–209. (In Russian).

21. Pashhenko V. G. Gneiss-leucogranite association of the Ukrainian Shield (formation composition, geological position). Author's abstract of dissertation ... cand. geol. sciences. – Lvov, 1997. – 20 p. (In Russian).

22. Pijyar Ju. K., Klochkov V. M., Pastuhov V. G. Some questions of the Precambrian metamorphic formations of the Podolsk block and the Golovanov suture zone//Geol. zhurn. – 1983. – Vol. 43. – № 5. – P. 39–44. (In Russian).

23. Polovinkina Ju. Ir. On the origin of cordierite granites – berdichev “granit” of Ukraine//Петрографічний збірник. Труды VSEGEI. – 1963. – Vol. 98. – № 5. – P. 115–121. (In Russian).

24. Ponomarenko A. N., Gintov O. B., Stepanyuk L. M. On the so-called “leukogranulite formation” and “greenlevada suite” of Early Precambrian of the Ukrainian Shield//Geofiz. zhurn. – 2018. – Vol. 40. – № 5. – P. 47–70. (In Russian).

25. Ryabenko V. A., Moskina O. D., Zlobenko I. F. The carbonaceous formation of the western part of the Ukrainian shield. – Kiev: Preprint IGAN AN USSR, 1980. – 52 p. (In Russian).

26. Slenzak O. I. Charnockites of the Dniester Area and some related general petrology questions. – Kiev: Izd-vo AN USSR, 1960. – 212 p. (In Russian).

27. Reference book on the petrography of Ukraine (igneous and metamorphic rocks). Edited by I. S. Usenko/I. S. Usenko, K. E. Esipchuk, I. L. Lichak, V. A. Slipchenko, V. A. Cukanov. – Kiev: Naukova Dumka, 1975. – 579 p. (In Russian).

28. Stepaniuk L. M. Comments on “The open letter to the members of the Bureau of the National stratigraphic committee of Ukraine and fellow precambrian geologists” V. P. Kyrylyuk//Geol. zhurn. – 2017. – № 4. – P. 88–99. (In Ukrainian).

29. Stepaniuk L. M. Problems of Stratigraphy and Geochronology of the Ukrainian Shield//Mineral. zhurn. – 2018. – Vol. 40. – № 1. – 16–31. (In Ukrainian).

30. Stratigraphic sections of the Precambrian of the Ukrainian shield/N. P. Shherbak, K. E. Esipchuk, B. Z. Berzenin, E. B. Glevasskij, A. S. Drannik, Ju. K. Pijyar, R. M. Polunovskij, T. A. Skarzinskaya, V. N. Solovickij, I. M. Jetingof, Ja. P. Bilynskaya, V. I. Ganockij, G. F. Guzenko, A. S. Kiselev, V. M. Klochkov, V. V. Reshetnyak, N. I. Bosaya, G. S. Voronova, V. I. Pilipenko. – Kiev: Naukova Dumka, 1985. – 168 p. (In Russian).

31. Stratigraphic schemes of Precambrian and Phanerozoic formations of the Ukrainian Shield for geological maps of 1:50 000 scale (1:25 000)/E. A. Aseeva, Ja. P. Bilynskaya, B. Z. Berzenin, N. D. Berezina, S. V. Buharev, M. F. Veklich, V. M. Veklich, V. A. Velikanov, G. P. Hvorova, I. B. Shherbakov, I. M. Jetingof, I. M. Jamnichenko. – Kiev, 1986. – 122 p. (In Russian).

32. Shherbakov I. B. Petrology and geochronology of the Precambrian of the western part of the Ukrainian shield. – Kiev: Naukova dumka, 1975. – 271 p. (In Russian).

33. Shherbakov I. B. Petrology of the Ukrainian shield. – Lvov: ZUKC, 2005. – 364 p. (In Russian).

34. Jetingof I. M., Solovickij V. N., Esipchuk K. E., Bilynskaya Ja. P., Berzenin B. Z., Buharev S. V., Pijyar Ju. K., Pilipenko V. I., Hvorova G. P., Orsa V. I., Shherbakov I. B. About changes in the correlation stratigraphic scheme of Precambrian formations of the Ukrainian shield//Geol. zhurn. – 1986. – Vol. 46. – № 3. – P. 3–6. (In Russian).

Рукопис отримано 10.11.2021

УДК 622.279.5

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.30-35>

С. В. МАТКІВСЬКИЙ, доктор філософії, начальник відділу поглибленого аналізу родовищ (Акціонерне товариство "Укргазвидобування"), matkivskij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4139-1381>,
Л. І. ХАЙДАРОВА, кандидат техн. наук, доцент кафедри видобування нафти і газу (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), lilya.matiishun@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8529-4807>

S. MATKIVSKYI, PhD, Head of the advanced field analysis department (JSC Ukrgasvydobuvannya), matkivskij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4139-1381>,
L. KHAIDAROVA, PhD (Engin.), Associate Professor of the Department of Oil and Gas Production (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas), lilya.matiishun@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8529-4807>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБВОДНЕНИХ ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF ELECTRIC CENTER PUMPS ON THE PRODUCTIVITY OF WATER-CUT GAS WELLS

Розглянуто основні особливості розробки газових і газоконденсатних родовищ в умовах активного надходження законтурних та підшовних вод у продуктивні поклади й видобувні свердловини. Охарактеризовано різні шляхи оптимізації умов експлуатації високообводнених свердловин на завершальній стадії розробки родовищ. На основі численних досліджень обґрунтовано доцільність і геолого-технологічні умови застосування механізованих способів експлуатації обводнених свердловин. Використовуючи програмний комплекс PipeSim компанії "Schlumberger" проведено дослідження впливу параметрів електровідцентрових насосів (ЕВН) на продуктивні характеристики обводнених газових свердловин. На основі результатів досліджень встановлено величину водного фактора, вище якого припиняється фонтанна експлуатація газової свердловини. Для відновлення продуктивності свердловини підібрано ЕВН типу REDA DN3100 та досліджено вплив різної його робочої частоти на вибірний тиск, дебіти рідини й газу. Побудовано графічні залежності дебітів газу, рідини й вибірного тиску від робочої частоти ЕВН. Встановлено, що дебіти газу й рідини зростають зі збільшенням робочої частоти ЕВН. На основі результатів проведених розрахунків здійснено порівняльний аналіз технологічних параметрів експлуатації обводненої свердловини як з використанням ЕВН типу REDA DN3100, так і без його використання. Виведено залежності, які дають можливість прогнозувати технологічні параметри експлуатації обводненої свердловини. Підтверджено високу технологічну ефективність використання ЕВН для інтенсифікації розробки нафтогазових родовищ в умовах інтенсивного обводнення продуктивних покладів і видобувних свердловин.

Ключові слова: газододатний контакт, свердловина, обводнення, накопичення рідини, механізований видобуток, електровідцентровий насос, підвищення вуглеводневилучення.

The main features of the development of gas and gas condensate fields in conditions of active inflow of boundary and bottom waters into productive deposits and production wells are considered. Various ways of optimizing the operating conditions of highly water-cut wells at the final stage of field development are characterized. On the basis of numerous studies, the expediency and technological conditions for the use of mechanized methods of operating water-cut wells have been substantiated. Using the Schlumberger PipeSim software package, a study of the influence of the parameters of electric submersible pumps on the performance characteristics of water-cut wells was carried out. Based on the research results, the value of the water factor was established, above which the flowing operation of the gas well ceases. To restore the productivity of the well, an ECP of the REDA DN3100 type was selected and the effect of its various operating frequencies on the bottomhole pressure, liquid and gas flow rates was investigated. Based on the results of the studies carried out, graphical dependences of the gas, liquid and bottomhole pressure on the operating frequency of the ECP were built. According to the results of the studies performed, it was found that the flow rates of gas and liquid increase with an increase in the operating frequency of the ECP. Based on the results of the calculations carried out, a comparative analysis of the technological parameters of the operation of a water-cut well with the use of ECP of the REDA DN3100 type and without its use was carried out. The research results made it possible to derive dependencies that allow predicting the technological parameters of the operation of water-cut wells. Based on the results of the calculations, the high technological efficiency of the use of ECP for the intensification of the development of oil and gas fields in conditions of intensive watering of productive deposits and production wells has been proved.

Keywords: gas-water contact, well, watering, fluid accumulation, artificial lift, electric submersible pump, increased hydrocarbon recovery.

Вступ. Розробка газових і газоконденсатних родовищ в умовах активного надходження пластової води в продуктивні поклади на сьогодні надзвичайно актуальна проблема для нафтогазової галузі України та й загалом у світі [18]. Активне надходження законтурних і підшовних вод у продуктивні пласти зумовлює ускладнення в процесі експлуатації видобувних свердловин, які супроводжуються зниженням продуктивності через накопичення рідини на вибої.

Обводнення видобувних свердловин може бути пов'язане як з аварійним проривом води з водоносних горизонтів через незадовільний технічний стан свердловин, так і неконтрольованим проривом пластової води через високопроникні пропластки газонасичених горизонтів [10, 16].

Водоізоляційні роботи не завжди дають змогу повністю припинити приплив води у свердловини, а за тонкошаруваної будови продуктивних відкладів або наявності у продуктивному розрізі "суперколекторів", які є основними шляхами надходження газу й води у свердловини, проводити водоізоляційні роботи взагалі не можна [17].

В умовах прояву активного водонапірного режиму відновити експлуатацію видобувних свердловин зазвичай неможливо, і свердловини змушено переводять на поклади горизонтів, що залягають вище. В обводнених ділянках продуктивних покладів залишаються значні запаси газу, зацмелені пластовою водою [20].

За результатами численних досліджень підготовлено низку методик розробки газових і газоконденсатних родовищ за водонапірного режиму та способів експлуатації обводнених

свердловин, які широко використовуються в газопромисловій практиці [11, 14, 15]. Однак розроблені технології характеризуються певними технологічними обмеженнями й можуть бути не досить ефективними та мати короточасний ефект.

З огляду на вищенаведене, доцільно проводити додаткові дослідження для інтенсифікації видобутку вуглеводнів за таких умов. На основі результатів проведених досліджень треба вдосконалювати наявні методи й технології видобутку природного газу з виснажених та обводнених родовищ для забезпечення максимальних коефіцієнтів вилучення вуглеводнів з мінімальним навантаженням на довкілля.

Аналіз досліджень сучасних публікацій. Перспективним напрямом інтенсифікації видобутку вуглеводнів нафтогазових родовищ в умовах активного надходження пластових вод у продуктивні поклади є впровадження технологій, в основі яких лежить механізований спосіб експлуатації обводнених свердловин [22].

Механізовані методи ґрунтуються на використанні для виносу рідини з вибоїв додаткової енергії, яка вводиться з поверхні [3, 9, 13]. Наочним прикладом використання сторонньої енергії слугує енергія стисненого газу при газліфтному способі, потенціальна та кінетична енергія при насосних способах експлуатації. Також можливим варіантом є обладнання колони ліфтових труб спеціальними пристроями, які запускаються тільки завдяки енергії пластового газу (пнеумоагрегати, плунжери).

Під час експлуатації газових свердловин з високим умістом пластової води найефективнішим є використання ЕВН. Однак, якщо ЕВН спроектований невдало, то великі об'єми газу, що потрапляють усередину насоса, можуть негативно впливати на його роботу й надалі викликати ускладнення під час експлуатації [21]. Вільний газ дуже знижує напір, що розвиває ЕВН і може перешкодити виходу відкачуваної рідини на поверхню. Тож наявність газу, а також недостатні об'єми рідини для ефективної роботи ЕВН обмежують їхнє застосування.

ЕВН працює в разі занурення у свердловинну рідину та монтується до нижньої частини насосно-компресорних труб (НКТ) [8]. Герметично ізольований електродвигун обертає серію робочих коліс, кожне з яких подає рідину через відвід у вхідний отвір робочого колеса, розміщеного над ним. Що більше ступенів, то вищий тиск нагнітання.

Отже, застосування зовнішньої енергії для відкачування пластової рідини дає змогу істотно продовжити строк експлуатації свердловин в умовах активного обводнення продуктивних покладів [2, 4]. Технологія керованого відкачування пластової рідини на основі ЕВН [6] нині найперспективніша методологія зниження несприятливого впливу обводнення видобувних свердловин на процес видобутку природного газу.

Результати численних випробувань і промислового досвіду використання ЕВН для експлуатації обводнених газових свердловин засвідчують, що зростання дебіту газу супроводжується порушенням теплової рівноваги насосів. Перегрівання електродвигуна зумовлене його розміщенням на 3–5 м нижче від рівня приймання рідини насосом [1]. Зважаючи на вищенаведене, для забезпечення теплової рівноваги електродвигуна треба підтримувати належний рівень рідини у свердловині, що забезпечить оптимальні умови роботи електродвигуна.

Усунути дефекти перегрівання електродвигуна можна також завдяки застосуванню технології короточасної експлуатації свердловин (КЕС), яку запропонував Н. П. Кузьмичов [12].

Ця технологія ґрунтується на періодичному відкачуванні насосом накопиченої у свердловині пластової рідини. До того ж час роботи електродвигуна розраховують так, щоб упродовж роботи він не встигав перегріватись, а в разі простоювання – охолоджувався до належної температури.

Провідні світові компанії вивчають проблеми, пов'язані з експлуатацією обводнених свердловин, і новітні технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів за таких умов для розробки виснажених обводнених газових і газоконденсатних родовищ. Американська компанія “РЕДА” має успішний досвід експлуатації обводнених газових свердловин пристроями ЕВН [19].

Напрацювання провідних фахівців, які активно впроваджують у виробництво, забезпечують позитивний ефект. Також для підвищення кінцевих коефіцієнтів вилучення природного газу розроблено й успішно адаптовано на обводнених газових свердловинах пристрої [5, 6, 7] для експлуатації нафтових свердловин з високим умістом вільного газу й механічних домішок, які пройшли промислові випробування.

Результати вітчизняного й зарубіжного досвіду проектування розробки нафтогазових родовищ в умовах активного просування пластової води в продуктивні поклади дають змогу обґрунтувати напрями дальших досліджень з удосконалення наявних технологій видобутку вуглеводнів.

Постанова проблеми. Завершальна стадія розробки газових і газоконденсатних родовищ характеризується поступовим обводненням продуктивних покладів і видобувних свердловин. За появи води у видобувній продукції знижуються дебіти природного газу. Зі зростанням водних факторів експлуатація свердловин стає нестабільною, періодичною з дальшим припиненням природного фонтанування.

Для відновлення продуктивності обводнених свердловин треба забезпечити повне або часткове винесення рідини з вибою на поверхню. Інтенсифікація винесення пластової рідини досягається завдяки оптимізації конструкції колони ліфтових труб, зниженню гирлового тиску або введення на вибір свердловини різних типів поверхнево-активних речовин. В умовах істотного обводнення видобувних свердловин широкого використання набули механізовані способи винесення рідини зі свердловин.

Найефективніший спосіб експлуатації високообводнених свердловин – застосування ЕВН, однак їхня ефективність дуже залежить від правильного вибору типу насоса та його робочих параметрів. Зважаючи на вищенаведене, постає потреба в проведенні додаткових досліджень з використанням сучасних інструментів моделювання відповідно до світової практики проектування розробки нафтогазових родовищ.

Методика проведення досліджень. Для дослідження впливу технологічних параметрів ЕВН і режимів їхньої роботи на продуктивність обводнених газових свердловин використано програмне середовище Pipesim компанії “Schlumberger”

Дослідження виконано на прикладі гіпотетичної газової свердловини з такими параметрами: глибина свердловини – 3860 м; глибина спуску НКТ до середини інтервалу перфорації – 3841 м; діаметр НКТ – 62 мм; діаметр експлуатаційної колони – 168 мм; товщина пласта – 15 м; поточний пластовий тиск – 6,0 МПа; гирловий тиск – 2,0 МПа; пластова температура – 376 К; проникність пласта – 80 мД; радіус зони дренажування – 609,6 м; густина газу – 0,633 кг/м³; густина води – 1030 кг/м³. Концептуальну модель свердловини з ЕВН наведено на рис. 1.

За допомогою програмного середовища PipeSim досліджено різні типи ЕВН, що забезпечуватимуть експлуатацію

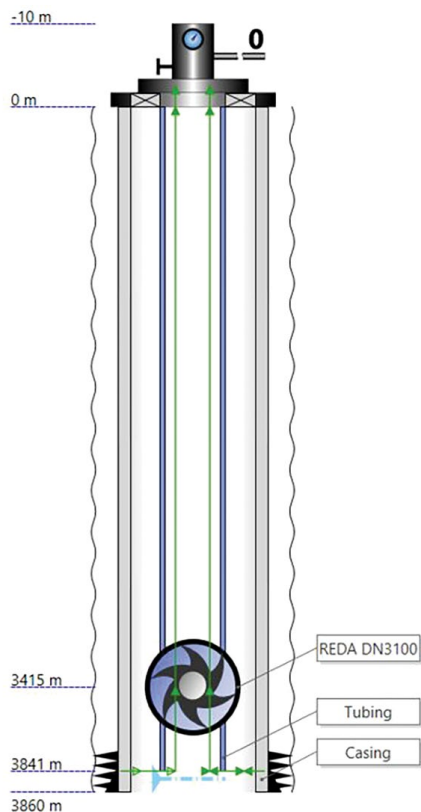


Рис. 1. Концептуальна модель свердловини з ЕВН

свердловини з високими водними факторами. Розрахунки зроблено для різних значень гирлового тиску (2,0; 1,5; 1,0; 0,5; 0,25 МПа) та різної робочої частоти ЕВН (30; 40; 50; 60; 70 Гц).

Виклад основного матеріалу. Використовуючи метод вузлового аналізу, досліджено вплив величини водного фактора на основні технологічні параметри експлуатації гіпотетичної газової свердловини. На основі результатів досліджень встановлено величину водного фактора, за якого припиняється фонтанна експлуатація свердловини. Результати розрахунків основних технологічних параметрів експлуатації газової свердловини наведено у табл. 1.

Аналізуючи результати розрахунків, наведених у табл. 1, встановлено, що в разі досягнення водного фактора на рівні 1700 л/тис. м³ припиняється фонтанна експлуатація газової

Таблиця 1. Результати розрахунків основних технологічних параметрів експлуатації газової свердловини

№ з/п	Водний фактор, л/тис. м ³	Вибійний тиск, МПа	Дебіт рідини, м ³ /добу	Дебіт газу, тис. м ³ /добу
1	0	5,503	0,00	112,05
3	200	5,564	23,01	98,00
5	400	5,780	23,62	49,96
7	600	5,898	16,60	23,24
9	800	5,947	11,55	12,04
11	1000	5,969	8,50	7,04
13	1200	5,980	6,59	4,51
15	1400	5,986	5,30	3,09
17	1600	5,990	4,38	2,22
18	1700	5,992	3,95	1,88
19	1750	–	–	–

свердловини. Для відновлення експлуатації видобувної свердловини постає потреба в облаштуванні її установкою ЕВН.

На основі комплексного аналізу результатів розрахунків для проведення наступних досліджень вибрано ЕВН типу REDA DN3100. Характеристику продуктивності цього насоса наведено на рис. 2.

Аналізуючи характеристику продуктивності підбраного обладнання для оптимізації умов експлуатації обводненої газової свердловини, що наведена на рис. 2, треба зазначити: виділена зона (жовтий колір) характеризує стабільну роботу ЕВН, а штрихова лінія – значення дебіту рідини в досліджуваній свердловині.

Щоб визначити вплив частоти ЕВН типу REDA DN3100 на дебіт рідини й дебіт газу за водного фактора на рівні 1750 л/тис. м³, проведено дослідження також і для різних значень гирлового тиску.

Залежності дебітів газу й рідини від частоти ЕВН типу REDA DN3100 для різних значень гирлового тиску зображено на рис. 3.

Залежності вибієного тиску від частоти ЕВН типу REDA DN3100 для різних значень гирлового тиску показано на рис. 4.

Аналіз графічних залежностей на рис. 3 та рис. 4 засвідчив, що дебіт газу й дебіт рідини зростають зі збільшенням робочої частоти ЕВН та зі зменшенням гирлового тиску, а вибієний тиск зростає зі зменшенням частоти ЕВН і гирлового тиску.

Згідно з результатами розрахунків треба зауважити, що за гирлового тиску 2,0 МПа і частоти ЕВН 30 Гц свердловина з водним фактором 1750 л/тис. м³ не експлуатується. За частоти 40 Гц дебіт газу зростає з 3,24 тис. м³/добу за гирлового тиску 2,0 МПа до 15,53 тис. м³/добу за гирлового тиску 0,25 МПа (у 4,79 раза або на 79,14 %), а за частоти 70 Гц –

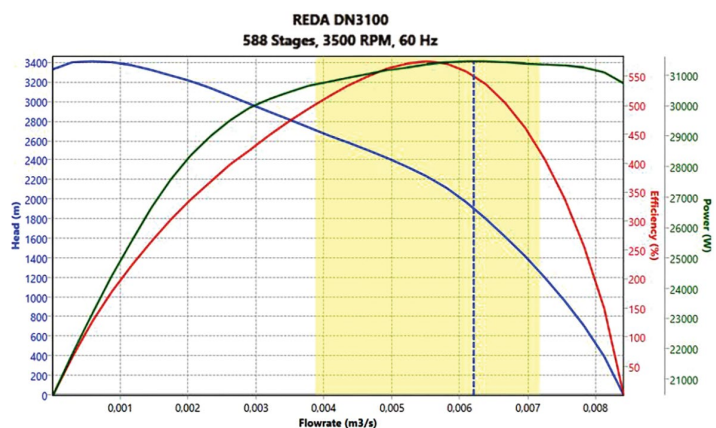


Рис. 2. Характеристика продуктивності насоса REDA DN3100

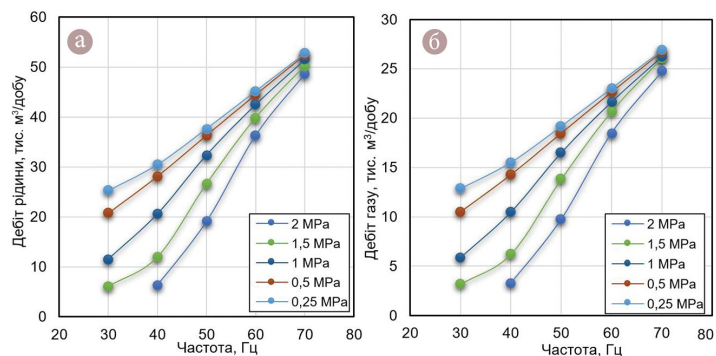


Рис. 3. Залежності дебітів газу (а) та рідини (б) від частоти ЕВН типу REDA DN3100 для різних значень гирлового тиску

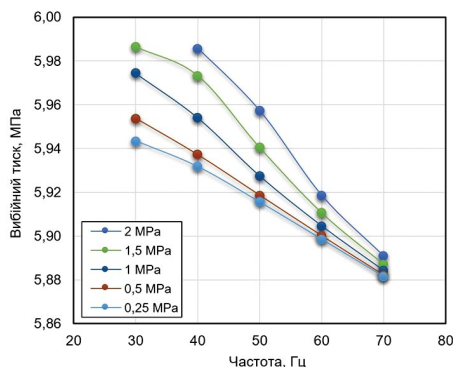


Рис. 4. Залежності вибієного тиску від частоти ЕВН типу REDA DN3100 для різних значень гирлового тиску

зростає з 24,75 тис. м³/добу за гирлового тиску 2,0 МПа до 26,85 тис. м³/добу за гирлового тиску 0,25 МПа (в 1,08 раза або на 7,82 %). Вищенаведене свідчить про те, що істотне абсолютне зростання дебіту газу спостерігається під час використання ЕВН на низьких частотах.

На рис. 5 наведено залежності дебіту газу та вибієного тиску від гирлового тиску для різних значень частот ЕВН типу REDA DN3100.

Аналіз залежностей на рис. 5 свідчить про те, що максимальні значення дебітів газу досягаються за зниження гирлового тиску й максимальних значень частот ЕВН.

За гирлового тиску 2,0 МПа дебіт газу зростає з 3,26 тис. м³/добу за частоти ЕВН 40 Гц до 24,75 тис. м³/добу за частоти 70 Гц (на 86,82 %); за гирлового тиску 1,5 МПа – з 3,16 тис. м³/добу за частоти ЕВН 30 Гц до 26,06 тис. м³/добу за частоти 70 Гц (на 87,87 %); за гирлового тиску 0,25 МПа – з 12,87 тис. м³/добу за частоти ЕВН 30 Гц до 26,85 тис. м³/добу за частоти 70 Гц (на 52,06 %).

Однак на виробництві знизити робочі тиски на гирлі свердловин на завершальній стадії розробки зазвичай неможливо через технологічні обмеження промислового обладнання, а також необхідність забезпечення умов підготовки вуглеводневої продукції відповідно до галузевого стандарту. У такому разі оптимізація умов експлуатації видобувних свердловин можлива лише завдяки облаштуванню їх установками ЕВН.

Щоб підтвердити ефективність інтенсифікації розробки нафтогазових родовищ в умовах вибіркового обводнення продуктивних покладів і видобувних свердловин завдяки механізованому видобутку вуглеводнів, проведено додаткові дослідження як з використанням ЕВН, так і без його використання для одного значення тиску на гирлі свердловини.

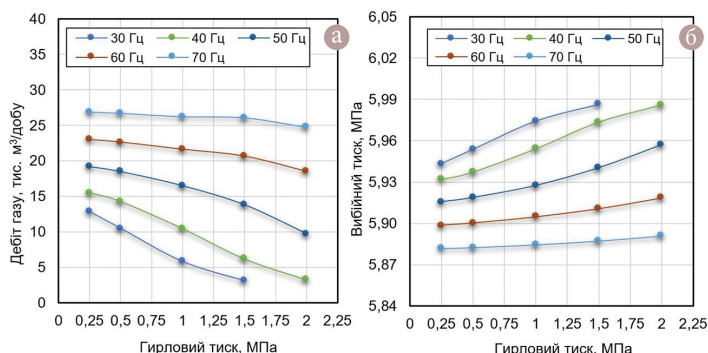


Рис. 5. Залежності дебіту газу (а) та вибієного тиску (б) від гирлового тиску для різних значень частот ЕВН типу REDA DN3100

Згідно з результатами проведених досліджень, стабільна експлуатація обводненої свердловини з водним фактором 1750 л/тис. м³ без використання ЕВН досягається в разі значення гирлового тиску на рівні 1,25 МПа. Технологічні параметри експлуатації свердловини за цього значення гирлового тиску такі: дебіт пластового газу – 2,247 тис. м³/добу; дебіт рідини – 4,411 м³/добу; вибієний тиск – 5,99 МПа. Результати розрахунків технологічних параметрів експлуатації видобувної свердловини з використанням ЕВН типу REDA DN3100 з різними частотами й значеннями гирлового тиску 1,25 МПа свердловини наведено в табл. 2.

Залежність дебіту газу від частоти ЕВН наведено на рис. 6, а залежність відношення дебітів газу (абсолютного приросту) від частоти ЕВН за гирлового тиску 1,25 МПа – на рис. 7.

На основі результатів досліджень треба зазначити велике зростання дебіту газу за експлуатації свердловин з використанням ЕВН типу REDA DN3100 зі збільшенням робочої частоти. Абсолютний приріст дебіту газу змінюється за квадратичною залежністю. Що більша частота ЕВН, то більший приріст дебіту газу. За частоти ЕВН 30 Гц можна отримати зростання дебіту газу в 1,88 раза, а за частоти 70 Гц – в 11,54 раза, порівнюючи з експлуатацією свердловин без використання ЕВН.

Таблиця 2. Результати розрахунків технологічних параметрів експлуатації свердловини з використанням ЕВН типу REDA DN3100

№ з/п	Частота, Гц	Вибієний тиск, МПа	Дебіт рідини, м ³ /добу	Дебіт газу, тис. м ³ /добу
1	30	5,982	8,274	4,215
2	40	5,965	15,790	8,044
3	50	5,933	29,883	15,224
4	60	5,908	41,241	21,011
5	70	5,886	50,885	25,924

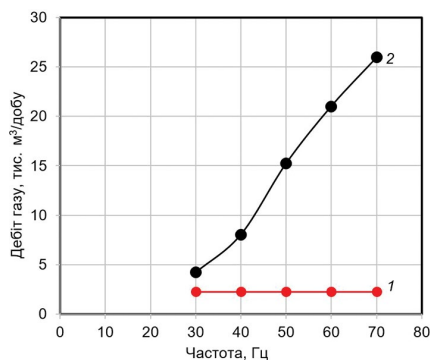


Рис. 6. Залежності дебіту газу від частоти ЕВН (для базового варіанта (1) та розрахункового варіанта (2))

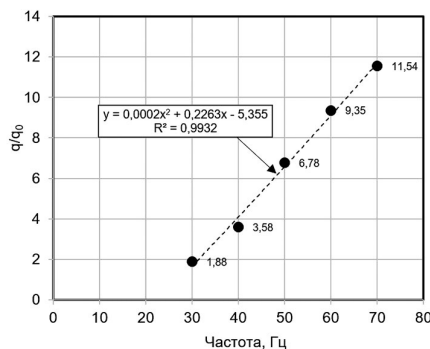


Рис. 7. Залежність відношення дебітів газу (абсолютного приросту) від частоти ЕВН за гирлового тиску 1,25 МПа

Результати проведених досліджень свідчать про високу технологічну ефективність використання ЕВН типу REDA DN3100 для оптимізації умов експлуатації високообводнених свердловин.

Висновки. Використовуючи програмний комплекс Pipesim компанії “Schlumberger”, на прикладі гіпотетичної свердловини досліджено вплив параметрів роботи ЕВН на продуктивність обводнених газових свердловин.

Згідно з результатами проведених досліджень встановлено, що дебіт газу й дебіт рідини зростає зі збільшенням робочої частоти ЕВН. У разі використання ЕВН типу REDA DN3100 за частоти 30 Гц можна отримати зростання дебіту газу в 1,88 раза, а за частоти 70 Гц – в 11,54 раза, порівнюючи з експлуатацією свердловин без використання ЕВН з тиском на гирлі свердловин на рівні 1,25 МПа.

Результати розрахунків свідчать про те, що ЕВН – високоефективний метод експлуатації обводнених газових свердловин в умовах вибіркового обводнення продуктивних покладів. Інтенсифікація видобутку вуглеводнів виснажених нафтогазових родовищ на завершальній стадії розробки дасть змогу підвищити ефективність розробки розвіданих запасів нафти, газу та конденсату, а також кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення в умовах чималого дефіциту вуглеводневої продукції в Україні.

Практична реалізація систем оптимізації розробки газових і газоконденсатних родовищ у широкому розумінні проблеми дасть змогу суттєво інтенсифікувати процес видобутку газу й конденсату та вийти на світовий рівень розв’язання поставленої проблеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андреев Е. Б. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа/Е. Б. Андреев и др. – М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2008. – 399 с.
2. Баишев В. З. и др. Разработка модели двухфазного трубопроводного транспорта применительно к системе добычи нефти, газа и конденсата на Оренбургском НГКМ. Отчет о НИР. – Оренбург: ООО “ВолгоУралНИПИгаз”, 2003. – 128 с.
3. Бузинов С. Н. и др. К вопросу о выборе газлифтной эксплуатации скважин на поздней стадии разработки газового месторождения//Территория Нефтегаз. – 2013. – № 5. – С. 80–83.
4. Валеев А. Ф. Анализ проблем добычи продукции газоконденсатного месторождения в условиях обводнения скважин/А. Ф. Валеев, Н. А. Соловьев/Матер. Всероссийской научно-практической конференции “Теоретические вопросы разработки, внедрения и эксплуатации программных средств”. – Орск: Изд. ОГТИ, 2011. – С. 18–21.
5. Вербицкий В. С. и др. Новая технология защиты установки электроцентробежного насоса от влияния механических примесей//Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 12. – С. 78–81.
6. Дроздов А. Н. Новая технология насосной эксплуатации обводненных газовых скважин для добычи низконапорного газа в осложненных условиях/А. Н. Дроздов, А. И. Ермолаев, Г. Г. Булатов//Территория НЕФТЕГАЗ. – 2008. – № 6. – С. 54–58.
7. Дроздов А. Н. и др. Установки погружных насосов с газосепараторами для эксплуатации скважин с высоким газовым фактором//Территория НЕФТЕГАЗ. – 2005. – № 6. – С. 12–20.
8. Ивановский В. Н. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти/В. Н. Ивановский, С. С. Пекин, А. А. Сабиров. – М.: ГУП Изд-во “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – 256 с.
9. Кабиров М. М., Нгуен Х. Н. Эффективность применения газлифтного способа эксплуатации скважин на морских месторождениях Вьетнама//Нефтегазовое дело. – 2007. – № 1. – С. 1–14.
10. Кондрат Р. М. Газоконденсатотдача пластов/Р. М. Кондрат. – М.: Недра, 1992. – 255 с.
11. Кондрат Р. М. та ін. Методика розрахунку параметрів газлифтної експлуатації обводнених газових свердловин при надходженні на вибір газу і води з різних пластів/Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2018. – № 1 (66). – С. 60–64.

12. Кузьмичев Н. П. Кратковременная эксплуатация скважин в осложненных условиях/Н. П. Кузьмичев//Технологии ТЭК. – 2005. – № 3. – С. 56–59.

13. Ли Джеймс, Никенс Генри, Уэллс Майкл Эксплуатация обводняющихся газовых скважин. Технологические решения по удалению жидкости из скважин: пер. с англ. – М.: ООО “Премиум Инжиниринг”, 2008. – 384 с.

14. Charles S. R., Tracy S. W. and Farrar R. L. Applied Reservoir Engineering. – OGCI Publications, Oil and Gas Consultants International, Inc. U.S.A., 1999. – Vol. 1. – Pp. 5–77.

15. Firoozabadi A., Olsen G. and Golf-Racht V. T. Residual Gas Saturation in Water-Drive Gas Reservoir//SPE California Regional Meeting held in Ventura, California, April 8–10, USA. – 1987. – P. 1–4 (319–322).

16. Kondrat O., Matkivskiy S. Research of the influence of the pattern arrangement of injection wells on the gas recovery factor when injecting carbon dioxide into reservoir//Technology and system of power supply. – 2020. – № 5/1 (55). – P. 12–17. – <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.215074>

17. Kondrat O., Matkivskiy S. The influence of the nitrogen injection duration at the initial gas-water contact on the gas recovery factor//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – № 1/6 (109). – P. 77–84. – <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224244>

18. Kryvulya S., Matkivskiy S., Kondrat O., Bikman Y. Approval of the technology of carbon dioxide injection into the V-16 water driven reservoir of the Hadiach field (Ukraine) under the conditions of the water pressure mode//Technology and system of power supply. – 2020. – № 6/1 (56). – P. 13–18. – <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.217780>

19. Lannom R., Holmes B., McElduff B. Locating ESP's in Coalbed Methane Wellbores for Optimum Dewatering//ESP WORKSHOP, The Woodlands, Texas, April 25–29, 2005.

20. Matkivskiy S. et al. Investigation of the influence of the carbon dioxide (CO₂) injection rate on the activity of the water pressure system during gas condensate fields development//Global Trends, Challenges and Horizons. – 2020. – Vol. 230. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202123001011>

21. Oscar Becerra, John Sheldon One Company's Experience using Metal to Metal PCPs as the Primary Artificial Lift Method in a SAGD Operation. Paper presented at the SPE Artificial Lift Conference and Exhibition – Americas, The Woodlands, Texas, USA, August. SPE-190945-MS. – <https://doi.org/10.2118/190945-MS>

22. Peter O. Oyewole, James F. Lea. 2008. Artificial-Lift Selection Strategy for the Life of a Gas Well with Some Liquid Production//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 21–24 September. Denver, Colorado, USA. – <https://doi.org/10.2118/115950-MS>

REFERENCES

1. Andreev E. B. Automation of technological processes of oil and gas production and treatment/E. B. Andreev et al. – Moskva: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2008. – 399 p. (In Russian).
2. Baishev V. Z. et al. Development of a model of two-phase pipeline transport as applied to the oil, gas and condensate production system at the Orenburg oil and gas condensate field. Research report. – Orenburg: ООО “VolgoUralNIPiGaz”, 2003. – 128 p. (In Russian).
3. Buzinov S. N. et al. On the issue of choosing gas-lift operation of wells at a late stage of gas field development//Territorya NEFTEGAZ. – 2013. – № 5. – P. 80–83. (In Russian).
4. Valeev A. F. Analysis of the Problems of Production of Gas Condensate Field Products in Conditions of Well Watering/A. F. Valeev, N. A. Solovjov//Materialy Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii “Teoreticheskie voprosy razrabotki, vnedreniya i jekspluatacii programmnyh sredstv”. – Orsk: Izd. OGTI, 2011. – P. 18–21. (In Russian).
5. Verbitskiy V. S. et al. New technology for protecting the installation of an electric centrifugal pump from the influence of mechanical impurities//Neftyanoe hozyaistvo. – 2007. – № 12. – P. 78–81. (In Russian).
6. Drozdov A. N. New technology for pumping water-cut gas wells for the production of low-pressure gas in difficult conditions/A. N. Drozdov, A. I. Ermolaev, G. G. Bulatov//Territorya NEFTEGAZ. – 2008. – № 6. – P. 54–58. (In Russian).
7. Drozdov A. N. et al. Installations of submersible pumps with gas separators for the operation of wells with a high GOR//Territorya NEFTEGAZ. – 2005. – № 6. – P. 12–20. (In Russian).
8. Ivanovskiy V. N. Installations of submersible centrifugal pumps for oil production/V. N. Ivanovskiy, S. S. Pekin, A. A. Sabirov. – Moskva:

GUP Izd-vo "Neft i gaz" RGU nefti i gaza im. I. M. Gubkina, 2002. – 256 p. (In Russian).

9. Kabirov M. M., Nguen H. N. The Efficiency of Using the Gas-Lift Method of Well Operation at Offshore Fields in Vietnam//Neftegazovoe delo. – 2007. – № 1. – P. 1–14. (In Russian).

10. Kondrat R. M. Gas condensate recovery/R. M. Kondrat. – Moskva: Nedra, 1992. – 255 p. (In Russian).

11. Kondrat R. M. et al. Methods for calculating the parameters of gas lift operation of flooded gas wells when entering the bottom of the gas and water from different formations//Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch. – 2018. – № 1 (66). – P. 60–64. (In Ukrainian).

12. Kuzmichev N. P. Short-term well operation in difficult conditions//Tehnologii TJeK. – 2005. – № 3. – P. 56–59. (In Russian).

13. Li Dzheims, Nikens Genri, Ujells Majkl Operation of watering gas wells. Technological solutions for removing fluid from wells. – Moskva: OOO "Premium Inzhiniring", 2008. – 384 p. (In Russian).

14. Charles S. R., Tracy S. W. and Farrar R. L. Applied Reservoir Engineering. – OGCI Publications, Oil and Gas Consultants International, Inc. U.S.A., 1999. – Vol. 1. – Pp. 5–77.

15. Firoozabadi A., Olsen G. and Golf-Racht V. T. Residual Gas Saturation in Water-Drive Gas Reservoir//SPE California Regional Meeting held in Ventura, California, April 8–10, USA. – 1987. – P. 1–4 (319–322).

16. Kondrat O., Matkivskiy S. Research of the influence of the pattern arrangement of injection wells on the gas recovery factor when injecting carbon dioxide into reservoir//Technology and system of power supply. – 2020. – № 5/1 (55). – P. 12–17. – <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.215074>

17. Kondrat O., Matkivskiy S. The influence of the nitrogen injection duration at the initial gas-water contact on the gas recovery factor//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – № 1/6 (109). – P. 77–84. – <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224244>

18. Kryvulya S., Matkivskiy S., Kondrat O., Bikman Y. Approval of the technology of carbon dioxide injection into the V-16 water driven reservoir of the Hadiach field (Ukraine) under the conditions of the water pressure mode//Technology and system of power supply. – 2020. – № 6/1 (56). – P. 13–18. – <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.217780>

19. Lannom R., Holmes B., McElduff B. Locating ESP's in Coalbed Methane Wellbores for Optimum Dewatering//ESP WORKSHOP, The Woodlands, Texas, April 25–29, 2005.

20. Matkivskiy S. et al. Investigation of the influence of the carbon dioxide (CO₂) injection rate on the activity of the water pressure system during gas condensate fields development//Global Trends, Challenges and Horizons. – 2020. – Vol. 230. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202123001011>

21. Oscar Becerra, John Sheldon One Company's Experience using Metal to Metal PCPs as the Primary Artificial Lift Method in a SAGD Operation. Paper presented at the SPE Artificial Lift Conference and Exhibition – Americas, The Woodlands, Texas, USA, August. SPE-190945-MS. – <https://doi.org/10.2118/190945-MS>

22. Peter O. Oyewole, James F. Lea. 2008. Artificial-Lift Selection Strategy for the Life of a Gas Well with Some Liquid Production//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 21–24 September. Denver, Colorado, USA. – <https://doi.org/10.2118/115950-MS>

Рукопис отримано 20.10.2021.

КАТАЛОГ ВИДАНЬ УКРАЇНИ

ПРЕСА ПОШТОЮ

Журнал
МІНЕРАЛЬНІ
РЕСУРСИ УКРАЇНИ
www.presa.ua

**У 2021 р. видавництво
ДП "УКРАЇНСЬКА ГЕОЛОГІЧНА КОМПАНІЯ"
видало комплект карт**

**"ГЕОЛОГІЧНА КАРТА
ДНА ПІВНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО
І ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ АЗОВСЬКОГО
МОРІВ"**

Аркуші L-35-Г; L-36-А, -Б, -В, -Г; К-36-А (пн. ч.),
-Б (пн. ч.); L-37-А (пд.-зх. ч.), -В (зх. ч.);
К-37-А (пн.-зх. ч.).

До комплексу карт увійшли:
"Літологічна карта і карта корисних копалин
поверхні морського дна", "Геологічна карта
і карта корисних копалин четвертинних
відкладів" і "Геоморфологічна карта"
масштабу 1:500 000; "Геологічна карта
і карта корисних копалин дочетвертинних
утворень" і "Схема неотектонічних
та сучасних рухів" масштабу 1:1 000 000.

Докладніша інформація –
на сайті <https://ukrgeol.com>

УДК 553.04

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.36-40>

Г. І. РУДЬКО, д-р геол.-мінерал. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, професор, голова Державної комісії України по запасах корисних копалин, office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,
О. В. НЕЦЬКИЙ, начальник управління нерудних корисних копалин, підземних вод та інформаційних технологій у геології (Державна комісія України по запасах корисних копалин), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7451-8924>,
С. Ф. ЛИТВИНЮК, канд. геол. наук, начальник управління горючих та рудних корисних копалин (Державна комісія України по запасах корисних копалин), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3763-2100>

H. RUDKO, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Dr. Sci. (Geogr.), Dr. Sci. (Engin.), Professor, Chairman of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources, office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,
O. NETSKYI, Head of Department (State Commission of Ukraine on Mineral Resources), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7451-8924>,
S. LYTVYNIUK, PhD (Geol.), Head of Department (State Commission of Ukraine on Mineral Resources), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3763-2100>

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ І НОРМАТИВНІ ЧИННИКИ АКТУАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ОЦІНОК РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

SCIENTIFIC-METHODICAL AND REGULATORY FACTORS UPDATES OF THE RESULTS OF GEOLOGICAL AND ECONOMIC EVALUATIONS OF MINERAL DEPOSITS

Розглянуто основні аспекти актуалізації результатів геолого-економічних оцінок родовищ корисних копалин, науково-методичні й нормативні чинники проведення цієї роботи, спрямованої на підвищення рівня інформаційної вивченості родовищ корисних копалин як основи Державного балансу запасів корисних копалин України, системи управління ресурсами й запасами корисних копалин, інвестиційного планування. Принцип періодичності проведення геолого-економічної оцінки відповідає міжнародним практикам щорічного розкриття звітності про запаси і ресурси корисних копалин перед фондовими біржами.

Загалом проведення періодичних (повторних) геолого-економічних оцінок актуалізує техніко-економічні й фінансові показники господарської діяльності користувачів надр для цілей інвестиційного планування та оподаткування.

Втрати держави внаслідок послаблення контролю за станом запасів корисних копалин і раціональним використанням надр сукупно важко оцінити, проте вони однозначно вагомі й значущі.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка, ділянка надр, родовище, кондиції, мінеральна сировина.

Primary aspects of updating the results of geological and economic assessments of mineral deposits, scientific-methodological and regulatory factors of this work aimed at increasing the level of informational study of mineral deposits as the foundation of the State Balance of Mineral Reserves of Ukraine, mineral reserves and resource management system, investment planning have been considered. The principle of periodicity of GEA is in line with international practices on the annual disclosure of reports on mineral reserves and resources for stock exchanges.

The cost of the GEA materials expertise is, on average, much lower than the annual profits of mining enterprises, and incomparably lower than the enterprises' profit for the entire period of deposit development. Mining companies that have violated the deadline for regular repetitive geological and economic assessment of mineral reserves of the subsoil area, calculate tax liabilities using a profitability ratio equal to triple discount rate of the National Bank of Ukraine.

In Ukraine, the legislation is being changed in order to adapt to European standards and best international practices, which will contribute to technological and economic transformation, and it will affect requirements of standards for product quality, which should ensure its competitiveness. In such circumstances, the issue of periodicity of geological and economic assessment and the development of methodological foundation for its implementation becomes crucial, as changes in the abovementioned indicators are reflected in the conditions for reserve calculation, quantity and commercial significance of reserves, mining enterprise profitability and profitability of activities associated with mineral extraction, in particular. The norm on repeated state expertise and assessment of mineral reserves every five years of subsoil use, abolished in 2017, has updated technical, economic and financial indicators of economic activity of subsoil users for investment planning and taxation.

State's losses due to the weakening of control over reserves and rational use of subsoil are difficult to assess, but they are clearly huge and significant. About 80 per cent out of the total number of mineral deposits and manifestations have not yet been considered by the State Commission of Ukraine on Mineral Resources in accordance with the conditions of the modern scientific and methodological base.

Keywords: geological and economic assessment, subsoil area, deposit, condition, mineral raw materials.

Вступ. Періодичний аналіз результатів геологічного та техніко-економічного вивчення запасів і ресурсів корисних копалин у межах ділянок надр (родовищ) з метою встановлення та/або зміни промислового значення на підставі інформації про фактичні технологічні схеми, техніко-економічні показники та фінансові результати видобування корисних копалин у межах такого об'єкта надрокористування ототожнюють з геолого-економічною оцінкою.

Економічні та технологічні чинники, що враховуються під час визначення балансової належності запасів і промислового значення родовища у зв'язку з розвитком і застосуванням нових технологій, збільшенням обсягів видобування, глибини переробки корисних копалин, постійно змінюються. Також втрачає актуальність інформація про об'єкт надрокористування (родовище) і в разі тривалого незалучення родовища із затвердженими запасами до промислової експлуатації (проблема так званих сплячих ліцензій); подекуди втрачається і первинна геологічна інформація щодо розвідки родовища.

Залежно від зміни ступеня знань про об'єкт надрокористування, уявлень про природно-технологічні чинники моделі ділянки надр (родовище), розвитку науково-методичних підходів, що обґрунтовують такі чинники, а також фінансових, нормативних, екологічних, соціальних та інших вимог, які визначають умови й доцільність використання та експлуатації ділянки надр (родовища) в часі, особливої актуальності набуває питання періодичності проведення геолого-економічних оцінок.

Втрати держави через відсутність інформації про стан запасів корисних копалин, напрями їхнього використання і повноту видобування важко оцінити сукупно. Проте вони вагомі й значущі, а в комплексі зумовлюють появу проблем, як-от нерациональне використання надр, послаблення державного управління ними, неактуальність Державного балансу запасів корисних копалин України, складнощі під час обґрунтування об'єктів надрокористування, щодо яких відбувається підготовка надання спеціальних дозволів на користування надрами через процедуру аукціонів.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до Положення про Державну комісію України по запасах корисних копалин (далі – ДКЗ), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 10.11.2000 № 1689 [8], ДКЗ є установою, що діє при Державній службі геології та надр України і провадить науково-технічну діяльність, пов'язану з проведенням на замовлення користувачів надр або за дорученням відповідних центральних органів виконавчої влади державної експертизи геологічних матеріалів з вивчення і використання надр та оцінки запасів корисних копалин.

Головними завданнями ДКЗ є: встановлення кондицій на мінеральну сировину для обчислення запасів корисних копалин у надрах; прийняття рішень щодо кількості, якості та ступеня вивченості запасів розвіданих родовищ корисних копалин і стану підготовленості їх до промислового освоєння.

Згідно з Положенням про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин (затверджене постановою КМУ від 22.12.1994 № 865 [9], далі – Положення № 865) рішення ДКЗ оформляються протоколами, що приймаються на пленарних засіданнях і спрямовуються на реалізацію єдиної науково-технічної політики щодо проведення геолого-економічної оцінки (далі – ГЕО). Об'єктами експертизи можуть бути матеріали детальної, попередньої або початкової оцінки запасів і ресурсів корисних копалин; матеріали техніко-економічного обґрунтування кондицій на мінеральну сировину; матеріали техніко-економічного обґрунтування коефіцієнтів видобутку нафти, газу та конденсату; проекти промислового освоєння родовищ, реконструкції або ліквідації робочих гірничодобувних і збагачувальних підприємств; матеріали техніко-економічного обґрунтування доцільності дальшої розвідки, розробки або списання з державного обліку запасів корисних копалин тощо. ДКЗ систематично проводить аналіз державного балансу запасів корисних копалин і надає рекомендації для користувачів надр щодо подання на повторну або первинну державну експертизу матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ корисних копалин (пункт 26 Положення № 865) [9]. У разі потреби ДКЗ рекомендує проведення робіт з перегляду кондиції на мінеральну сировину для обчислення запасів корисних копалин у межах окремої геолого-економічної оцінки.

Геолого-економічна оцінка – одна з вимог геологічного вивчення надр (стаття 38 Кодексу України “Про надра” [4]).

Результат ГЕО – основа Державного балансу запасів корисних копалин України, Державного кадастру родовищ і проявів корисних копалин.

ГЕО – періодичний аналіз результатів кожної стадії геологічного та техніко-економічного вивчення ресурсів корисних копалин ділянки надр з метою встановлення та/або зміни промислового значення їхніх запасів на підставі інформації про фактичні технологічні схеми, техніко-економічні показники й фінансові результати видобування корисних копалин у межах такої ділянки.

Принцип періодичності проведення ГЕО відповідає міжнародним практикам щорічного розкриття звітності про запаси й ресурси корисних копалин перед фондовими біржами. У процесі виконання міжнародних зобов'язань України, у зв'язку з імплементацією актів законодавства Європейського Союзу, Україна приєдналася до Ініціативи щодо забезпечення прозорості у добувних галузях [2], згідно з якою щорічно формуються звіти з відомостями про стан запасів корисних копалин.

Положення № 865 передбачає проведення повторної ГЕО в разі перегляду вимог стандартів щодо кількості або якості корисних копалин, технології їхньої переробки, що зумовлює зменшення сумарних розвіданих запасів більш як на 20 % або зростання їхнього обсягу більш як на 50 %. Запаси розроблюваних родовищ підлягають повторній експертизі й оцінці, якщо внаслідок гірничодобувних або додаткових геологорозвідувальних робіт сумарні розвідані запаси зростають більш як на 50 %, порівнюючи з раніше оціненими ДКЗ, або якщо списані й передбачені для списання розвідані запаси як такі, що не підтвердилися чи недоцільні для видобутку за техніко-економічними умовами родовищ, перевищують нормативи, встановлені законодавством.

ДКЗ проводить державну експертизу й оцінку запасів корисних копалин за результатами розгляду матеріалів ГЕО, які подають користувачі надр.

Положення № 865 у редакції постанови КМУ від 26.03.2008 № 264 містило норму про проведення повторної державної експертизи та оцінки запасів родовищ корисних копалин через що п'ять років експлуатації ділянки надр. Постановою КМУ від 17.12.2017 № 1108 внесено зміни, які цю норму скасовують.

Розгляд матеріалів повторної ГЕО засвідчує, що переважна їхня частина стосувалася родовищ (ділянок надр), які були розвідані багато років тому – в 1950–1997 роках. Деякі з них розробляють з початку ХХ століття, розвідуючи (дорозвідуючи) неодноразово. Раніше запаси всіх таких родовищ періодично переглядали в ДКЗ СРСР, УкрТКЗ або ДКЗ. На багатьох родовищах (переважно сировини місцевого значення – пісок, суглинки, крейда тощо) запаси в установленому порядку ніколи не затверджували, а розглядали на спільних технічних радах профільних інститутів і геологорозвідувальних організацій. За результатами такого “розгляду” запаси обліковував Державний баланс запасів корисних копалин України, хоча вірогідність їхніх кількісних, якісних та економічних характеристик є низькою й не підтверджується результатами експлуатації.

Останнє п'ятиріччя під час проведення повторної ГЕО родовищ твердих корисних копалин постійно простежувалися такі аспекти геолого-економічної вивченості й надрокористування:

– невідповідність результатів розвідки (встановлених кондицій) і результатів розробки родовища – часткове непідтвердження запасів;

– перекаліфікація балансових (добувних) запасів у недобувні таксони Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр [3] (затверджена постановою КМУ від 05.05.1997 № 432) – позабалансові, умовно балансові, запаси з невизначеним промисловим значенням;

– невідповідність мети спеціального дозволу на користування надрами фактичній діяльності надрокористувачів;

– видобування корисних копалин за межами спеціальних дозволів на користування надрами й гірничих відводів;

– видобування без огляду на контур, визначений спеціальним дозволом на користування надрами, оскільки на початку запровадження процедури ліцензування спеціальні дозволи (ліцензії) не містили координат ділянок надр, або координати визначались однією точкою;

– реалізація порід розкриву без їхнього геологічного довивчення й затвердження як запасів корисних копалин;

– невідповідність кількості залишку запасів, яка обліковується в Державному балансі запасів корисних копалин України, його фактичній наявній кількості на родовищі, що зумовлено багатьма причинами (неправильний облік, незадокументований видобуток);

– недовивчення корисних копалин, зокрема, в частині проведення їхньої радіаційно-гігієнічної оцінки (до 1986 р. це питання гостро не стояло), що визначає сферу використання корисної копалини і готової продукції, а також невиконання рекомендацій ДКЗ щодо геологічного довивчення корисних копалин, раціонального та ефективного використання надр;

– недостатня вивченість екологічних наслідків видобування корисних копалин (осушення водоносних горизонтів, запилення, небезпечні інженерно-геологічні процеси тощо);

– невідповідність проекту розробки родовища умовам залягання корисної копалини й сучасним нормам технологічного проектування, що зумовлює втрати корисної копалини, знижує екологічну безпеку добувних робіт.

З-поміж іншого, потребу проведення повторної геолого-економічної оцінки експлуатаційних запасів питних підземних вод ділянок (родовищ) зумовлює:

1) перегляд вимог до якості питних підземних вод – затвердження ДСанПіН 2.2.4-171-10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною” [1], що регламентує вимоги до якості питних підземних вод і має набагато ширший перелік показників проти тих, що нормувалися під час оцінки запасів підземних вод ДКЗ СРСР (УкрТКЗ);

2) нераціональне використання ресурсів: вибирається набагато менша кількість експлуатаційних запасів (переважно на рівні від перших одиниць до 50–60 %, в окремих поодиноких випадках до 80 %), ніж надана в користування відповідно до спеціальних дозволів на користування надрами, що зумовлює некоректне врахування обсягів експлуатаційних запасів родовищ питних підземних вод, які перебувають або можуть перебувати у взаємодії, під час підрахунку їхніх експлуатаційних запасів;

3) поява нової Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр [5], що встановлює вимоги до балансових експлуатаційних запасів питних підземних вод, які містять економічний зміст (запаси корисних копалин ділянки надр, для яких на момент проведення геолого-економічної оцінки згідно з техніко-економічними розрахунками та/або матеріалами фінансової звітності підтверджено, що коефіцієнт рентабельності продукції гірничо-добувного підприємства (розрахунковий та/або фактичний) є достатнім

для економічно ефективного видобування корисних копалин на такій ділянці надр);

4) неможливість у сучасних умовах оцінити балансові / розвідані запаси підземних вод, а відповідно визначити розмір та причини їхньої зміни, зокрема через те, що термінологічно визначення категорій (балансові / розвідані експлуатаційні запаси підземних вод) відрізняється від цих самих категорій, що використовувалися під час оцінки ДКЗ СРСР (УкрТКЗ): а) нині розвідані запаси – запаси на базі яких проведена детальна ГЕО їхнього промислового освоєння (тобто і техніко-економічна оцінка); б) балансові запаси – запаси, які на момент оцінки згідно з техніко-економічними розрахунками можна економічно ефективно видобути й використати за сучасної техніки й технології видобування та водопідготовки, що забезпечують дотримання вимог раціонального, комплексного використання ресурсів й охорони навколишнього природного середовища;

5) сучасний стан експлуатаційних запасів родовищ (їхніх ділянок), розвіданих понад 30–60 років тому, їхні водогосподарські, санітарні умови, екологічні чинники, що впливають на кількість, якість, напрям або ефективність використання підземних вод, залишаються невідомими (недослідженими в сучасних умовах).

Загалом проведення періодичних (повторних) геолого-економічних оцінок актуалізує техніко-економічні та фінансові показники господарської діяльності користувачів надр для цілей інвестиційного планування та оподаткування.

Щодо зазначених вище питань ДКЗ ухвалює відповідні рішення про статус запасів у межах ділянки надр і надає рекомендації користувачам надр.

Вартість робіт з експертизи матеріалів ГЕО в середньому набагато менша за показники річних прибутків гірничих підприємств і незрівнянно нижча від показників прибутку підприємств за весь період експлуатації родовищ.

За даними ДНВП “Державний інформаційний геологічний фонд України”, наведеними в щорічнику “Мінеральні ресурси України 2020” [5] в надрах України виявлено понад 20 тис. родовищ і проявів зі 117 видів мінеральної сировини, з яких 10 390 родовищ (зокрема 1812 ділянок вод підземних питних і технічних, мінеральних) мають промислове значення і враховуються Державним балансом запасів корисних копалин України. Промисловістю освоєно понад 3 778 родовищ або менш як 40 % промислово значущих родовищ.

За період дії Класифікації запасів корисних копалин України, починаючи з 1997 року і дотепер, ДКЗ оформлено близько 4 900 протоколів розгляду матеріалів геолого-економічних оцінок запасів як нових родовищ, так і виявлених до набуття чинності Класифікації. Водночас велику частку об’єктів надрокористування розглянуто неодноразово. Із загальної кількості родовищ і проявів корисних копалин близько 80 % об’єктів ДКЗ ще не розглядала відповідно до умов сучасної науково-методичної бази.

Згідно з Податковим кодексом України [7] розрахункова вартість одиниці виміру товарної продукції гірничого підприємства обчислюється за формулою, що враховує коефіцієнт рентабельності гірничого підприємства. Цей коефіцієнт обчислюється в матеріалах геолого-економічної оцінки запасів корисних копалин ділянки надр, що розглядаються ДКЗ.

Гірничі підприємства, які порушили строк регулярної повторної геолого-економічної оцінки запасів корисних копалин ділянки надр, обчислюють податкові зобов’язання із застосуванням коефіцієнта рентабельності, що дорівнює трикратному розміру облікової ставки Національного банку України.

В Україні відбуваються зміни законодавства з метою його адаптації до Європейських стандартів і найкращих світових практик, що сприятиме технологічним та економічним перетворенням, а також позначиться на вимогах стандартів до якості продукції, що має забезпечити її конкурентоспроможність. У таких умовах питання періодичності геолого-економічної оцінки й розвитку методичних основ її проведення набуває вкрай актуального значення, оскільки зміна показників, зазначених вище, впливає на кондиції для підрахунку запасів, кількість і промислове значення запасів, коефіцієнт рентабельності гірничого підприємства й рентабельність діяльності, пов'язаної з видобуванням корисних копалин зокрема.

З огляду на зазначене вище, констатуємо необхідність регулярного періодичного проведення ГЕО внаслідок появи нових сучасних вимог оцінки запасів родовищ корисних копалин. Ідеться, зокрема, про:

- рішення Уряду України в 1997 р. затвердити нову Класифікацію запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, розроблену відповідно до сучасних практик, зокрема міжнародної Рамкової класифікації ООН;

- прийняття сучасних вимог (показників) щодо якості корисних копалин і товарної продукції, які враховуються промисловістю (ДСТУ, ТУ тощо) [6];

- сучасні вимоги щодо техніко-економічних показників, які визначають доцільність проекту з видобування загалом і вартість запасів у надрах, а також базу оподаткування, що регулюється Податковим кодексом України зокрема;

- загальні вимоги законодавства щодо заборони видобування (обмеженого видобування запасів) у межах лінійних об'єктів (дороги, ЛЕП, продуктопроводи), природоохоронних об'єктів (зони санітарної охорони річок, водозаборів, заповідників тощо); заборони забудови площ залягання запасів корисних копалин і розпаювання земель у їхніх межах – зумовлює втрату промислового значення частини (більшої частини, в одиничних випадках родовища загалом) запасів і потребу списання їх в установленому порядку;

- високу ефективність розробки окремих родовищ через пошук і залучення високопродуктивних надрокористувачів;

- зміну методики підрахунку запасів (раніше більшість запасів твердих корисних копалин підраховували в контурі гірничих виробок – “валізою”, як результат – недостовірність обліку балансових (добувних) запасів), що нині виконується в межах контуру, обґрунтованого проектом розробки родовища.

З огляду на зазначене вище й унеможливлення неоднозначного трактування положень у законодавчому й нормативно-методичному полі треба законодавчо передбачити, що:

- а) техніко-економічні розрахунки постійних кондицій на мінеральну сировину ділянки надр для визначення економічно ефективного видобування корисних копалин щодо розподілу економічної вигоди між користувачем ділянки надр та Державою користувач ділянки надр має розробляти з періодичністю що п'ять років і подавати до ДКЗ на перегляд (повторне затвердження);

- б) повторна Державна експертиза матеріалів геолого-економічної оцінки запасів родовищ корисних копалин загальнодержавного значення складної будови, для яких якісні й кількісні параметри корисної копалини не витримані в плані чи розрізі, має проводитися з періодичністю не більш як що п'ять чи що сім років, а також у разі:

- отримання нових даних під час підготовки до видобування, видобування або перегляду вимог стандартів щодо

кількості або якості корисних копалин, технології їхнього видобутку та переробки, складання або коригування робочих проектів, додаткових геологорозвідувальних робіт, що змінюють сумарні балансові запаси більш як на 20 % у межах блока, який забезпечує видобування із затвердженою проектною потужністю впродовж п'яти років;

- перевищення строку затвердження запасів (для підземних вод);

- залучення до експлуатації нерозроблюваних родовищ, якщо з моменту останнього розгляду запасів ДКЗ минуло понад десять років;

- якщо розвідані запаси, списані як непідтверджені чи недоцільні для видобутку за техніко-економічними умовами родовищ, упродовж трьох років поспіль перевищують нормативи, затверджені ДКЗ або встановлені законодавством;

- змінення вартості сировини, тарифів, податків і ставок або цін чи номенклатури товарної продукції, що суттєво (сума, тотожна або більша за 10 %, може вважатися суттєвою, якщо немає даних або переконливої аргументації проти; сума, тотожна або менша за 5 % може вважатися несуттєвою, якщо немає даних або переконливої аргументації проти) змінює дохід власника надр або сумарні балансові запаси в межах ділянки, що за обсягом запасів забезпечує видобуток із затвердженою проектною потужністю протягом п'яти років.

За період з 2018 по 2020 роки, коли законодавчу норму, що передбачала періодичне проведення обов'язкової повторної геолого-економічної оцінки що п'ять років, було скасовано, кількість запитів на державну експертизу запасів істотно скоротилася. Зокрема, у 2017 р. ДКЗ було оформлено 454 рішення колегії ДКЗ, у 2020 р. – 230, а за I півріччя 2021 року укладено тільки 82 угоди на проведення експертизи матеріалів геолого-економічної оцінки.

Висновки. Проведення ДКЗ державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин за результатами періодичного розгляду матеріалів повторної геолого-економічної оцінки родовищ корисних копалин тотожне оцінкам із застосуванням комерційних класифікацій, що використовуються у світовій практиці й зумовлюють однозначно високу якість проведеної експертизи.

Відсутність періодичних геолого-економічних оцінок родовищ корисних копалин унеможливорює управління міне-



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
**МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ
УКРАЇНИ**

Колектив журналу
нагадує авторам
і читачам, що триває
передплата на журнал
МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ
на I півріччя 2022 р.

Передплатний індекс
за Каталогом періодичних
видань України –
48336



рально-сировинною базою України [10] і досягнення Цілей сталого розвитку на національному рівні.

За період існування ДКЗ не було жодної скарги з боку користувачів надр щодо виконаних геолого-економічних досліджень і жодного непідтвердження запасів корисних копалин, що свідчить про винятково високу якість виконання робіт. Експерти ДКЗ — фахівці високої кваліфікації, з тривалим досвідом робіт у геологічній галузі та бездоганною репутацією.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"//Офіційний вісник України. – 2010. – № 51. – 99 с.
2. Закон України. Про забезпечення прозорості у видобувних галузях//Офіційний вісник України. – 2018. – № 82. – 8 с.
3. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр//Офіційний вісник України. – 1997. – № 19. – 104 с.
4. Кодекс України "Про надра"//Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 36. – 340 с.
5. Мінеральні ресурси України. – Київ: Державне науково-виробниче підприємство "Державний інформаційний геологічний фонд України"; 2020. – 270 с.
6. Наказ від 07.12.2005 №300 "Про затвердження Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах"//Офіційний вісник України. – 2006. – № 5. – 137 с.
7. Податковий кодекс України//Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 13-14, № 15-16, № 17. – 556 с.
8. Про затвердження Положення про Державну комісію України по запасах корисних копалин//Офіційний вісник України. – 2000. – № 46. – 194 с.
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 грудня 1994 р. № 865 "Про затвердження Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин"//Зібрання постанов Уряду України. – 1995. – № 3. – 55 с.
10. Рудько Г. І., Ловишников В. І., Литвинюк С. Ф., Нецький О. В. Управління ресурсами корисних копалин на основі рамкової класифікації ООН (національна класифікація запасів і ресурсів корисних копалин України)//Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2019. – № 4 (73). – С. 7-15.

REFERENCES

1. DSanPiN 2.2.4-171-10 "State sanitary standard. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption"//Ofitsiyni visnyk Ukrainy. – 2010. – № 51. – 99 p. (In Ukrainian).
2. Law of Ukraine. On ensuring transparency in the extractive industries//Ofitsiyni visnyk Ukrainy. – 2018. – № 82. – 8 p. (In Ukrainian).
3. Classification of reserves and resources of minerals of the state subsoil fund//Ofitsiyni visnyk Ukrainy. – 1997. – № 19. – 104 p. (In Ukrainian).
4. Code of Ukraine about subsoil//Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 1994. – № 36. – 340 p. (In Ukrainian).
5. Mineral resources of Ukraine. – Kyiv: Derzhavne naukovy-vyrobnyche pidpriemstvo "Derzhavnyi informatsiyni heolohichniy fond Ukrainy"; 2020. – 270 p. (In Ukrainian).
6. "On approval of the Regulations on the procedure for the development and justification of conditions for mineral raw materials for the calculation of reserves of solid minerals in the subsoil"//Ofitsiyni visnyk Ukrainy. – 2006. – № 5. – 137 p. (In Ukrainian).
7. Tax Code of Ukraine//Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 2011. – № 13-14, № 15-16, № 17. – 556 p. (In Ukrainian).
8. On approval of the Regulations on the State Commission of Ukraine for Mineral Resources//Ofitsiyni visnyk Ukrainy. – 2000. – № 46. – 194 p. (In Ukrainian).
9. "On approval of the Regulations on the procedure for conducting state examination and assessment of mineral reserves"//Zibrannia postanov Uriadu Ukrainy. – 1995. – № 3. – 55 p. (In Ukrainian).
10. Rudko H. I., Lovyniukov V. I., Lytvyniuk S. F., Netskyi O. V. Management of mineral resources on the basis of the UN framework classification (national classification of reserves and resources of minerals of Ukraine)//Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – 2019. – № 4 (73). – P. 7-15. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 17.12.2021.

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), оглядової – 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 622.279.5

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.41-45>

В. М. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), svaroh13@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8749-5354>,

В. С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, професор (Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"), biletisk@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2936-9680>,

А. В. МЕЛЕЖИК, здобувач вищої освіти (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), lina.melehik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9205-1352>

V. ORLOVSKIY, PhD (Engin.), Associate Professor (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), svaroh13@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8749-5354>,

V. BILETSKYI, Dr. Sci. (Engin.), Professor (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"), biletisk@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2936-9680>,

A. MELEZHNIK, higher education seeker (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), lina.melehik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9205-1352>

МОДЕЛЮВАННЯ ТАМПОНАЖНОГО КАМЕНЮ НА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНІЙ ОСНОВІ

SIMULATION OF CEMENT-ASH STONE FOR WELLS

У цій праці автори мають на меті одержати статистичну математичну модель цементно-зольного тампонажного каменю з функцією відгуку – міцність каменю. Зокрема, сформульовано задачу щодо встановлення впливу на міцність тампонажного каменю домішки у вигляді кислоти золи-виносу теплових електростанцій (пуцоланова домішка).

Методи дослідження. Для одержання статистичної моделі використано ротатбельний центральнокпозиційний план експерименту. Результати оброблено із застосуванням методу комп'ютерного математичного моделювання за допомогою системи STATGRAPHICS Plus for Windows.

Наукова новизна. З'ясовано, що гіперповерхня $G(X_1, X_2)$ має точку екстремуму. Це дає змогу оптимізувати за факторами X_1, X_2 склад тампонажної суміші.

Практична значущість. Отримані результати дають можливість прогнозувати міцнісні характеристики каменю на основі цементно-зольного складу.

Результати. Одержано статистичну математичну модель цементно-зольного каменю на основі цементу загальнобудівельного призначення марки ПЦІ-500-Н. За отриманими Парето-графіком, гіперповерхнями й контурними кривими визначено характер і ступінь впливу кожного з членів полінома на цільову функцію – міцність цементного каменю $G(X_1, X_2, X_3)$. Найбільшу статистичну значущість мають фактори моделі X_1, X_3 , фактор X_2 є статистично найменш значущим. Результати моделювання підтверджують, що водосумішеве співвідношення не має значного впливу на міцність тампонажного каменю в заданому діапазоні рецептур.

Максимальна міцність тампонажного каменю $G = 13,582$ МПа має місце в точці оптимуму з координатами: $X_1 = 0,689$; $X_2 = -0,295$; $X_3 = 1,105$.

Ключові слова: тампонажний матеріал, ротатбельний центральнокпозиційний план експерименту, моделювання, Парето-графік, поверхні відгуку, рівняння регресії.

Purpose. The purpose of this work is to obtain a statistical mathematical model of cement-ash stone with the response function – the strength of the stone. In particular, the task is to establish the effect on the strength of cement stone additives in the form of ash-removal of thermal power plants (pozzolanic additive).

Methodology. A rotatable central composition plan of the experiment was used to obtain a statistical model. The results were processed using the method of computer mathematical modeling using the system STATGRAPHICS Plus for Windows.

Originality. It is established that the hypersurface $G(X_1, X_2)$ has an extremum point, which allows to optimize the composition of the cement mixture by factors X_1, X_2 .

Practical value. The results obtained in this work make it possible to predict the strength characteristics of the stone on the basis of cement-ash composition.

Finding. The statistical mathematical model of cement-ash stone on the basis of cement of general construction purpose of the ПЦІ-500-Н brand is received. From the obtained pareto-graphs, hypersurfaces and contour curves, the nature and degree of influence of each of the polynomial members on the objective function – the strength of cement stone $G(X_1, X_2, X_3)$ are determined. The factors of model X_1, X_3 have the greatest statistical significance, the factor X_2 is statically the least significant. The simulation results confirm that the water-mixture ratio does not have a significant effect on the strength of cement stone in a given range of formulations.

The maximum strength of cement stone $G = 13,582$ МПа takes place at the optimum point with coordinates: $X_1 = 0,689$; $X_2 = -0,295$; $X_3 = 1,105$.

Keywords: cement material, rotatable central composition plan of experiment, strength modeling, Pareto-graph, response surfaces, regression equation.

Вступ. Питання моделювання в нафтогазовій промисловості доцільно розглядати в плані основних об'єктів та технологічних процесів і пристроїв, які використовуються під час буріння, видобування, транспортування та зберігання, а також первинного й вторинного перероблення вуглеводневих флюїдів. Сьогодні в процесі цементування свердловин на бурових підприємствах України використовують переважно

стандартний тампонажний портландцемент ПЦІ-100, цементно-зольні суміші (ЦЗС) на базі тампонажного портландцементу ПЦІ-100 і золи кислоти (ЗК) теплових електростанцій, будівельний портландцемент ПЦІ-500-Н та спеццементи ШПЦС-120, ШПЦС-200, ПЦІІІ-Пол 5-100, ЦТП 1,5-100, ЦТО-100, ОШЦ [7,8].

Упродовж останніх десятиріч нафтові й газові свердловини досягли великих глибин, тому виникла потреба в застосуванні термостійких тампонажних матеріалів.

Основні дослідження і публікації. На сьогодні для якісного розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах застосовують переважно тампонажні цементи, у яких основним в'язучим матеріалом є портландцемент. Згідно з ДСТУ БВ.2.7-88-99, залежно від хіміко-мінералогічного складу, тампонажні портландцементи поділяють на класи для різних температурних умов експлуатації від 288 до 423 К.

Результати досліджень [1, 5] засвідчили, що в разі застосування портландцементів у геотермальних умовах глибоких свердловин виникають проблеми довговічності тампонажного каменю. Висока активність портландцементу спричинює температурну нестабільність тампонажного каменю, що викликає деструктивні процеси, зокрема утворення високоосновного гідросилікату, внаслідок чого поступово знижується міцність і підвищується проникність, навіть у термостійких цементів. Це призводить до формування шляхів газонафтоводопроявів (ГНВП) і перетоків у свердловині.

У процесі перероблення кам'яного вугілля на теплову енергію утворюється велика кількість відходів. Ці відходи за фізичним станом речовини можна поділити на три головні типи [8]:

- зола – сипка тонкодисперсна маса, яка складається з неоплавлених або оплавлених на поверхні дрібних зерен, що утворюються за порівняно низьких температур;

- шлак котельний – спечена, порувата, досить міцна маса, що складається з окремих шматків неправильної форми розміром 0,01–0,20 м та утворюється переважно на колосниковій решітці за температур, вищих від 1 273 К;

- шлак, що утворюється після охолодження розплавленої за вищої від 1 573 К температури мінеральної частини палива, – щільна (з високою міцністю) склувата або закристалізована маса.

Для використання як тампонажних матеріалів найпридатніші тонкодисперсні золи, що не потребують додаткових технологічних витрат, зокрема розмелювання. Тому для кріплення свердловин запропоновано розробку – термостійкі тампонажні суміші на основі портландцементу загальнобудівельного призначення (ПЦЗБП), зокрема портландцементу ПЦІ-500-Н з кислою золою-виносом теплових електростанцій (ТЕС) [15].

Під час дослідження технологічних властивостей розроблених композицій на основі сумішей ПЦЗБП з кислою золою-виносом ТЕС встановлено таке:

- на основі сумішей ПЦЗБП з кислою золою-виносом, наприклад Курахівської ДРЕС, можна одержати термостійкі тампонажні композиції з високими експлуатаційними властивостями;

- одержаний камінь на основі сумішей ПЦЗБП з кислою золою-виносом ТЕС має високу стійкість в умовах сульфатної і магнезійної агресії (особливо рецептури, які містять шлакопортландцемент) [15].

Досліджуючи процеси твердіння й деструкції цементного каменю під час тривалої гідротермальної дії В. С. Данюшевський зробив висновок про важливе значення природи утворення тієї чи іншої структуротвірної фази для властивостей тампонажного каменю, зокрема його термостійкості [9].

Таблиця 1. Область факторного планування

Фактор	Код фактора	Одиниця вимірювання	Рівні факторів				
			–1,68179	–1	0	1	1,68179
Вміст портландцементу ПЦІ-500-Н у тампонажній суміші	X ₁	%	40	45	50	55	60
Водосумішеве співвідношення	X ₂	%	0,55	0,555	0,56	0,565	0,57
Температура	X ₃	°С, (К)	80 (353,15)	90 (363,15)	100 (375,15)	110 (353,15)	120 (393,15)

Водночас виокремлюються два можливі напрями в одержанні стійких новоутворень на ранніх стадіях твердіння.

Перший з цих напрямів полягає у виборі в'язучого матеріалу з найменшою, але достатньою для забезпечення потрібної швидкості твердіння хімічною активністю. Другий напрям передбачає утворення в реакції зі спеціально введеними кремнеземом і глиноземом довговічних в умовах високих температур і тисків гідросилікатів і гідрогранатів кальцію.

Практичне вирішення цього питання пов'язане з розробленням тампонажних композицій, до складу яких входять малоактивні в'язучі матеріали та різні домішки до них, що наявні у відходах металургійної, гірничорудної й хімічної промисловості. Це шлаки, шлами, спіки, розплави, золи, горілі породи тощо [16].

На сьогодні найповніше досліджено можливості використання золи горючих сланців, кам'яного й бурого вугілля. Їхнє застосування розвивається в трьох головних напрямках: використання золи як сировинного компонента під час одержання клінкеру [2, 10, 14, 17], використання як активної мінеральної домішки до цементів [6, 11, 13, 17], у виробництві будівельних деталей під час автоклавного оброблення з використанням в'язучих властивостей золи [3, 4, 12].

У Полтавському відділенні УкрДГРІ розроблено безклінкерні термостійкі тампонажні цементи на основі сумішей, як-от висококальцієва зола (ЗВ) Прибалтійських горючих сланців і кислої золи-виносу (ЗК) теплових електростанцій (ТЕС), наприклад Курахівської ДРЕС.

Мета цієї роботи – одержати статистичну математичну модель цементно-золяного тампонажного каменю з функцією відгуку – міцність каменю. Зокрема, сформульовано задачу щодо встановлення впливу на міцність тампонажного каменю домішки у вигляді кислої золи-виносу теплових електростанцій (пуцоланова домішка).

Постанова задачі. Головне завдання дослідження – одержання статистичної моделі цементно-золяного каменю дводобового тужавіння, на основі цементу ПЦІ-500-Н з функцією відгуку – міцність каменю.

Викладення основного матеріалу та результати. Для розроблення статистичної моделі застосовано ротатбельний центральнокпозиційний план експерименту, що забезпечує однакову похибку по всьому факторному просторі. Функція відгуку – міцність утвореного цементного каменю на стиснення через дві доби від початку тужавіння тампонажного розчину (G, МПа). На підставі апріорних даних варіативними вибрано три основні фактори: співвідношення вмісту портландцементу ПЦІ-500-Н у тампонажній суміші (X₁), водосумішеве співвідношення (X₂), умови тужавіння тампонажного розчину (температура за відповідних їй пластових тисків у свердловині) (X₃). Вибрані фактори відповідають вимогам керованості, взаємозалежності, однозначності, яким мають задовольняти вхідні фактори під час планування експерименту. Зону факторного простору представлено в табл. 1.

За допомогою комп'ютерної програми STATGRAPHICS Plus for Windows отримано план-матрицю експерименту, втіленого в лабораторних умовах (табл. 2).

Результати лабораторних досліджень оброблено з використанням комп'ютерної системи STATGRAPHICS Plus for Windows. На рис. 1 представлено Парето-графік і графік порівняння розрахункових та експериментальних даних. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 97,847\%$, показник втрат узгодженості функції Lack-of-fit $P = 0,0009$, а стандартна помилка оцінки $SE = 0,338$, що свідчить про адекватність регресійної моделі.

На рис. 1б показано взаємозв'язок одержаних і розрахункових даних. Основна частина експериментальних точок міститься в околиці прямої, і це ще раз побічно підтверджує висновок про адекватність моделі.

З Парето-графіка (рис. 1а) видно, що при 95 % довірчої ймовірності статистичну значущість мають фактори моделі X_1, X_3 , фактор X_2 є статично найменш значущим. Тобто, аналітично підтверджується, що водосумішове співвідношення не має істотного впливу на міцність тампонажного каменю в заданому діапазоні рецептур.

У загальному вигляді отримано таке рівняння регресії:

$$G = 9,14305 + 0,680973 \cdot X_1 - 0,290528 \cdot X_2 + 1,105 \cdot X_3 - 0,280696 \cdot X_1^2 + 0,0875 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,215288 \cdot X_2^2 - 0,075 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,567835 \cdot X_3^2 \quad (1)$$

З огляду на значущість коефіцієнтів рівняння регресії при 95 % довірчої ймовірності рівняння (1) набуває вигляду:

$$G = 9,14305 + 0,680973 \cdot X_1 + 1,105 \cdot X_3 - 0,280696 \cdot X_1^2 + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,567835 \cdot X_3^2 \quad (2)$$

На рис. 2 показано тривимірні перетини цільової функції $G(X_1, X_2, X_3)$ та відповідні контурні криві.

Отже, аналізуючи Парето-графік (рис. 1а) та рівняння регресії (2) констатуємо, що найбільш значущим для визначення цільової функції $G(X_1, X_2, X_3)$ є фактори X_1 – вміст у суміші портландцементу ПЦІ-500-Н та X_3 – умови тужавіння тампонажного розчину (температура при відповідних їй пластових тисках у свердловині).

За значущістю члени моделі-полінома розміщуються в такому порядку: $X_3, X_1, X_3^2, X_2, X_1^2$.

Згідно з одержаними гіперповерхнями й контурними кривими рис. 2, збільшення фактора X_3 – температури ту-

жавіння тампонажної суміші зумовлює збільшення міцності тампонажного каменю, до того ж спершу спостерігається стрімке зростання цільової функції до певної точки. Отримана залежність з погляду фізики пояснюється тим, що з підвищенням температури величина пересичення розчинів гідратних новоутворень збільшується.

Критичний радіус зародків твердої фази зменшується. Внаслідок цього кількість контактів зрощування мікрористалів зростає, і вони в результаті втрати надлишкової води та інтенсивного обростання новими гідратними утвореннями зміцнюються. Відповідно зростає міцність кристалічної решітки цементного каменю. Але в рецептурах золотих термостійких тампонажних композицій з максимальним умістом кислої золи (55–60 %) прямо пропорційна залежність міцності від впливу умов тужавіння цементу спостерігається до певного критичного значення температури. Це зумовлено особливістю гідратації золотих сумішей. За високих температур (100 °C і вищих) гідратні новоутворення таких композицій стають термодинамічно нестійкими.

За гіперповерхнями простежується зростання залежності $G(X_1)$ для майже будь-яких значень фактора X_2 . Це свідчить про значущість фактора вмісту золи (X_1) і меншу значущість фактора водосумішového відношення (X_2), що підтверджується Парето-графіком.

З погляду фізики вплив водосумішového відношення пояснюється тим, що надлишкова вода під час змішування не бере участі в гідратації портландцементних зерен і залишається у вигляді вільної води, що й призводить до зниження міцності.

Як бачимо з аналізу гіперповерхні $G(X_2, X_3)$, міцність каменю експоненційно залежить від температури (фактор X_3). Водночас, як і в разі гіперповерхні $G(X_2, X_1)$, фактор X_2 менш значущий.

Аналіз гіперповерхні $G(X_1, X_3)$ показує ті ж тенденції – по-перше, міцність G прямо пропорційно збільшується за-

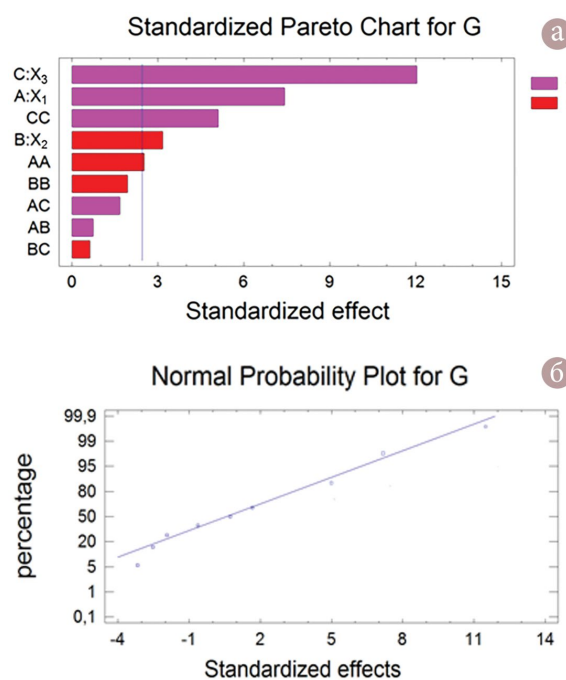


Рис. 1. Статистичні оцінки регресійної моделі

а) Парето-графік (вертикальна лінія відповідає 95 % значущості коефіцієнтів);

б) графік порівняння експериментальних (observed) і розрахункових (predicted) значень цільової функції

Таблиця 2. Матриця планування експерименту та одержані експериментальні дані

X_1	X_2	X_3	G, МПа
-1	-1	-1	7,75
1	-1	-1	8,5
-1	1	-1	7,15
1	1	-1	8,4
-1	-1	1	9,6
1	-1	1	11,3
-1	1	1	8,85
1	1	1	10,75
-1,68179	0	0	7,5
1,68179	0	0	9,7
0	-1,68179	0	9,37
0	1,68179	0	8,2
0	0	-1,68179	9,1
0	0	1,68179	12,9
0	0	0	9,1
0	0	0	9,1

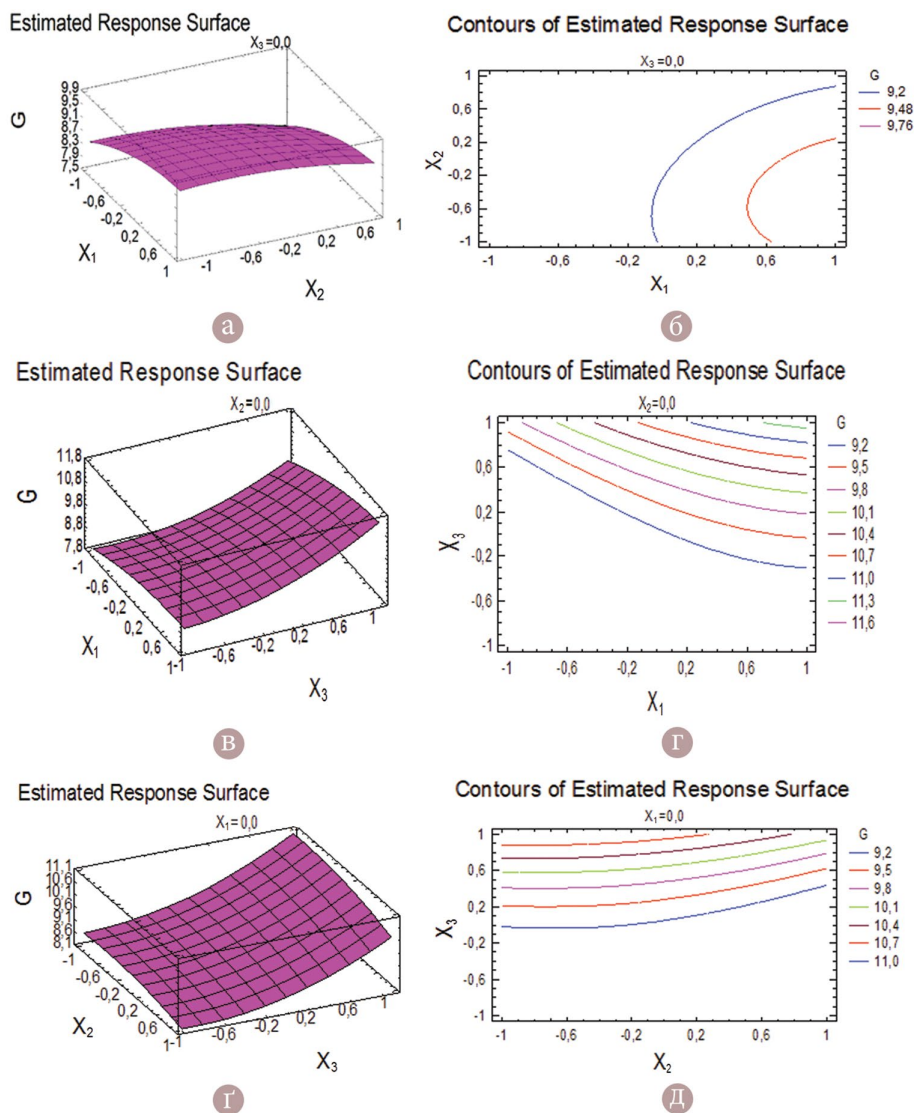


Рис. 2. Тривимірні перетини та контурні криві цільової функції $G(X_1, X_2, X_3)$

а) тривимірна поверхня міцності G для факторів X_1, X_2 при $X_3 = 0$; б) тривимірна поверхня міцності G для факторів X_1, X_2 при $X_3 = 0$; в) тривимірна поверхня міцності G для факторів X_1, X_3 при $X_2 = 0$; г) контурні криві цільової функції G для факторів X_1, X_3 при $X_2 = 0$; д) контурні криві цільової функції G для факторів X_2, X_3 при $X_1 = 0$

лежно від фактора X_1 , по-друге, і на цій гіперповерхні чітко простежується експоненційна залежність $G(X_3)$.

Важливо наголосити, що результатом моделювання є визначення точки оптимуму при конкретних значеннях $X_1 = 0,689; X_2 = -0,295; X_3 = 1,105$, міцність за таких рівнів відповідно становитиме 13,582 МПа.

Висновки. 1. Одержано статистичну математичну модель цементно-золяного тампонажного каменю дводобового тужавіння за міцністю. Тампонажний матеріал одержують на основі тампонажного портландцементу ПЦІ-500-Н і модифікатора-наповнювача – золи-виносу ТЕЦ залежно від складу цементного розчину й умов тужавіння.

2. З отриманих гіперповерхонь і контурних кривих визначено характер та ступінь впливу кожного з членів полінома на цільову функцію – міцність цементного каменю $G(X_1, X_2, X_3)$. На підставі апріорних даних варіативними вибрано три основні фактори: співвідношення вмісту портландцементу до вмісту кислоти золи-виносу (X_1), водосумішове відношення (X_2), умови тужавіння тампонажного розчину (температура за відповідних

ій пластових тисків у свердловині) (X_3). За значущістю члени моделі-полінома розміщуються в такому порядку: $X_3, X_1, X_3^2, X_2, X_1^2$.

3. Встановлено, що гіперповерхня $G(X_1, X_2)$ має точку екстремуму. Це дає змогу оптимізувати за факторами X_1, X_2 склад тампонажної суміші. Одержаний результат досліджень має наукову новизну. Максимальна міцність тампонажного каменю $G = 13,582$ МПа характерна для точки оптимуму з координатами: $X_1 = 0,689; X_2 = -0,295; X_3 = 1,105$.

4. Отримана математична модель – адекватна й повністю підтверджується фізико-хімічними процесами, що відбуваються під час тужавіння тампонажного розчину.

5. Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані результати дають можливість прогнозувати міцнісні характеристики каменю на основі цементно-золяного складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балицкая З. А. Тампонажные растворы для глубоких скважин/З. А. Балицкая, И. Г. Верещака, В. В. Сачков и др. – Москва: Недра, 1976. – 120 с.
2. Богомолов Б. Н. Переход на двухкомпонентную сырьевую смесь с использованием золы ГРЕС/Б. Н. Богомолов, В. И. Батраков// Цемент. – 1990. – № 4. – С. 9–11.
3. Боженев П. И. Технология автоклавных материалов/П. И. Боженев. – Л.: Стройиздат, 1978. – 367 с.
4. Бетоны и изделия из шлаковых и золяных материалов/А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов и др. – М.: Стройиздат, 1969. – 392 с.
5. Булатов А. И. Тампонажные материалы/А. И. Булатов, В. С. Данюшевский. – Москва: Недра, 1987. – С. 164–167.
6. Высоцкий С. А. Золосодержащие цементы и бетоны на их основе/С. А. Высоцкий//Цемент. – 1989. – № 5. – С. 13–14.
7. Горський В. Ф. Матеріали та розчини для цементування свердловин/В. Ф. Горський. – Чернівці, 2006. – 524 с.
8. Горський В. Ф. Сучасний стан та перспективи розвитку виробництва тампонажних матеріалів в Україні/В. Ф. Горський, П. В. Горський, Ю. Ф. Шевчук та ін.//Нафтогазова промисловість. – 2000. – № 5. – С. 19–20.
9. Данюшевский В. С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов/В. С. Данюшевский. – М.: Недра, 1978. – 293 с.
10. Дмитриев П. Н. Подготовка к обжигу сырьевого компонента из золы отвалов ТЕЦ/П. Н. Дмитриев, Л. С. Фрайман, К. А. Вежливцев//Цемент. – 1989. – № 12. – С. 7–8.
11. Дмитриев А. И. Проблемы использования техногенных материалов при производстве цемента/А. И. Дмитриев, В. Е. Каушанский//Цемент. – 1988. – № 9. – С. 2–3.
12. Иванов И. А. Легкие бетоны на основе зол электростанций/И. А. Иванов. – М.: Изд. лит. по строительству, 1972. – 128 с.
13. Караханиди С. Г. Зола-унос ТЕЦ – активная минеральная добавка/С. Г. Караханиди//Цемент. – 1987. – № 5. – С. 18–19.
14. Макеев Ю. А. Применение отходов горючих сланцев при производстве цемента/Ю. А. Макеев, К. А. Вяжливцев//Цемент. – 1989. – № 12. – 5 с.
15. Орловський В. М. Сучасні тампонажні матеріали/В. М. Орловський, А. М. Похилко, В. В. Крицький//Геотехнології. – 2018. – № 1. – С. 44–52.
16. Орловський В. М. Тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні/В. М. Орловський. – Полтава, 2015. – 129 с.

17. Применение топливных зол отходов ТЕС КАТЕКА в производстве вяжущих/А. В. Киселев, Е. И. Аллилуева, Т. Я. Гальперина и др.//Цемент. – 1988. – № 11. – С. 21–22.

REFERENCES

1. Balickaya Z. A. Cement solutions for deep wells/Z. A. Balickaya, I. G. Vereshhaka, V. V. Sachkov et al. – Moskva: Nedra, 1976. – 120 p. (In Russian).
2. Bogomolov B. N. Transition to a two-component raw material mixture using GRES ash/B. N. Bogomolov, V. I. Batrakov//Cement. – 1990. – № 4. – P. 9–11. (In Russian).
3. Bozhenov P. I. Autoclave materials technology/P. I. Bozhenov. – Leningrad: Strojizdat, 1978. – 367 p. (In Russian).
4. Concrete and products from slag and ash materials/A. V. Volzhenskij, Yu. S. Burov, B. N. Vinogradov et al. – Moskva: Strojizdat, 1969. – 392 p. (In Russian).
5. Bulatov A. I. Cement borehole materials/A. I. Bulatov, V. S. Danyushevskij. – Moskva: Nedra, 1987. – P. 164–167. (In Russian).
6. Vysockij S. A. Ash-bearing cements and concretes on their basis/S. A. Vysockij//Cement. – 1989. – № 5. – P. 13–14. (In Russian).
7. Horskij V. F. Cement well materials and solutions/V. F. Horskij. – Chernivtsi, 2006 – 524 p. (In Ukrainian).
8. Horskij V. F. Current state and prospects of development of production of cement well materials in Ukraine/V. F. Horskij, P. V. Gorskij, Yu. F. Shevchuk et al.//Naftohazova promyslovist. – 2000. – № 5. – P. 19–20. (In Ukrainian).
9. Danyushevskij V. S. Designing Optimal Borehole Cement Formulations/V. S. Danyushevskij. – Moskva: Nedra, 1978. – 293 p. (In Russian).
10. Dmitriev P. N. Preparation for firing of the raw material component from the ash of CHP dumps/P. N. Dmitriev, L. S. Fraiman, K. A. Vezhivcev//Cement. – 1989. – № 12. – P. 7–8. (In Russian).
11. Dmitriev A. I. Problems of using technogenic materials in the production of cement/A. I. Dmitriev, V. E. Kaushanskij//Cement. – 1988. – № 9. – P. 2–3. (In Russian).
12. Ivanov I. A. Light concrete based on power plant ash/I. A. Ivanov. – Moskva: Izd. lit. po stroitelstvu, 1972. – 128 p. (In Russian).
13. Karahanidi S. G. Fly ash TEC – active mineral additive/S. G. Karahanidi//Cement. – 1987. – № 5. – P. 18–19. (In Russian).
14. Makeev Yu. A. Application of wastes of combustible shales in cement production/Yu. A. Makeev, K. A. Vyazhivcev//Cement. – 1989. – № 12. – 5 p. (In Russian).
15. Orlovskiy V. M. Modern cement well materials/V. M. Orlovskiy, A. M. Pokhylko, V. V. Krytskiy//Heotekhnolohii. – 2018. – № 1. – P. 44–52. (In Ukrainian).
16. Orlovskiy V. M. Borehole cement materials that expand during hardening/V. M. Orlovskiy. – Poltava, 2015. – 129 p. (In Ukrainian).
17. The use of fuel ash waste TES KATEKA in the production of binders/A. V. Kiselev, E. I. Alliluyeva, T. Ja. Galperina et al.//Cement. – 1988. – № 11. – P. 21–22. (In Russian).

Рукопис отримано 8.12.2021.

М. М. ШАТАЛОВ, д-р геол. наук, провідний науковий співробітник (ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”), shatalov@casre.kiev.ua

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

ОСНОВОПОЛОЖНИК МЕТАЛОГЕНІЧНОЇ НАУКИ (з нагоди 120-річчя ЮРІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧА БІЛІБИНА)

ОСНОВОПОЛОЖНИК МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ НАУКИ (к 120-летию ЮРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА БИЛИБИНА)

Имя профессора, члена-корреспондента АН СССР Юрия Александровича БИЛИБИНА легендарно и занимает особое место среди замечательной плеяды ученых-геологов нашей планеты. Он прожил короткую, но яркую жизнь, открыл крупную золотоносную провинцию и оставил потомкам огромное научное наследие. Его научные труды вошли в золотой фонд мировой геологической науки. С каждым годом полнее и весомее раскрывается значение его научных работ в области рудной геологии и металлогении, что важно для украинских и зарубежных ученых. Ю. А. Билибин – выдающийся исследователь, один из основоположников металлогенической школы, крупнейший петрограф и знаток рудных месторождений. Он внес огромный вклад в учение о месторождениях полезных ископаемых и создание золоторудной минерально-сырьевой базы страны. Острые теоретические проблемы в его научных работах тесно переплетены с решением практических задач. Созданное им совместно с академиком С. С. Смирновым металлогеническое направление исследований, опираясь на мощный фундамент, способствовало формированию металлогенической школы и крупной современной минерально-сырьевой базы России, Беларуси, Украины.



Юрий Александрович БИЛИБИН
(6 мая 1901 г. – 4 мая 1952 г.)
советский геолог, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент АН СССР

(Матеріал друкється мовою оригіналу)

Юрий Александрович Билибин родился 19 мая 1901 г. в городе Ростове Ярославской губернии в семье кадрового военного. Отец и мать были людьми высокой культуры. Они сумели привить сыну любовь к знаниям и трудолюбию. После окончания реального училища и службы в Армии в 1921 г. Ю. А. Билибин становится студентом Санкт-Петербургского горного института.

На геологическое мировоззрение студента Билибина оказали значительное влияние выдающиеся геологи – профессора Горного института А. А. Борисяк, Д. И. Мушкетов, А. Н. Заварицкий, А. К. Болдырев, В. Н. Лодочников, С. С. Смирнов и др. В студенческие годы он много и активно работает: ведет научную работу и публикует статьи об открытых им двух новых минералах (алюмогидрокальци-

те и алюмолимоните) и *“О смесимости минералов группы кальцита”*; летом 1923 г. подрабатывает смотрителем мелких шахт на донбасском Успенском руднике; в 1924 г., под руководством А. Н. Заварицкого, проводит детальную геологическую съёмку Бакальского железорудного месторождения на Урале, а летом 1925 г., под руководством Я. С. Эдельштейна, работает прорабом в партии, ведущей поиски и разведку редких металлов в Хакасии; создает кружок в научном студенческом обществе Горного института, куда входили Ю. М. Шейнманн, А. Л. Лисовский, С. А. Музылев, Д. В. Вознесенский, В. И. Серпухов, Е. С. Бобин, В. А. Пресняков, Н. А. Хрущев, С. А. Призانت и др. – впоследствии выдающиеся ученые-геологи.

После окончания Горного института Юрий Александрович работает в тресте “Алданзолото”, где возглавляет съёмочно-поисковые работы в Центрально-Алданском золотоносном районе. В этот период он впервые доказал связь золотого оруденения с мезозойскими трещинными интрузиями и наметил закономерности их размещения в пространстве и во времени. В 1928 г. талантливый ученый организовал и провел первую экспедицию на Колыму. Ее блестящие результаты открыли Северо-Восток как новую и весьма крупную минерально-сырьевую базу страны. В очерке *“К истории Колымских прищков”* он необыкновенно красочно повествует о прогнозе, организации и результатах первых своих геологических экспедиций на Колыму.

Работая в штате Геологического комитета в 1930–1931 гг., Ю. А. Билибин исследовал материалы первой Колымской экспедиции. На основании докладной записки ученого правительство приняло решение об организации “Дальстроя” и промышленном освоении многочисленных золоторудных месторождений Колымского края. Академик С. С. Смирнов в 1940 г. считал *“этот самый смелый научно обоснованный прогноз Билибина”* самым ярким из всех известных ему геологических прогнозов, а составленный документ для правительства – главным толчком к развороту громадных работ на Колыме.

Как отметил его ученик, металлогенист профессор А. Д. Щеглов, в практической и научной деятельности Ю. А. Билибина можно выделить, в значительной мере условно, три периода, когда главное внимание и научные интересы ученого были сосредоточены на различных проблемах:

1926–1938 гг. – пристальное изучение вопросов, связанных с геологией золота; этот период завершается написанием монографии *“Основы геологии россыпей”*;

1938–1943 гг. – “петрографический период”, во время которого создаются известные монографии по щелочным породам *“Былмахский интрузив и связанные с ним вопросы петрогенезиса”*;

1944–1952 гг. – период создания металлогенической школы и разработки основных положений о закономерностях размещения месторождений полезных ископаемых в земной коре.

По материалам детального изучения щелочных массивов Алданского района Ю. А. Билибин не только защищает докторскую диссертацию (1943 г.), но и публикует широко известные монографии: *“Послеюрские интрузии Алданского щита”* (1941 г.) и *“Петрология Былмахского интрузива”* (1947 г.). В этих работах он показал себя как блестящий петрограф-микроскопист и теоретик. Кроме тонкого и всестороннего описания сложного комплекса разнообразных щелочных пород и их геологического положения, ученый рассматривает в этих публикациях ряд теоретических вопросов происхождения щелочных магм, считая их сложными дифференциатами базальтовой магмы. Эти работы засвидетельствовали его огромный интерес к проблемам петрологии.



Памятник-бюст геологу Ю. А. Билибину: Билибино, Билибинский район, Чукотский автономный округ, Россия

Они снискали ему известность крупного петрографа, внесшего весомый вклад в развитие петрологической мысли и познание петрографии сложного комплекса щелочных пород.

Совершенно особый и важный вклад внес Ю. А. Билибин в познание металлогении золота. Даже к настоящему времени его работы практически единственные, где вопросы геологической эволюции золота рассматриваются наиболее всесторонне и полно. Золото является наиболее важным в экономическом отношении элементом по сравнению с другими элементами таблицы Д. И. Менделеева, однако особенности проявления золота во времени, в пространстве и в структурах литосферы все еще изучены недостаточно. В некоторой степени этот пробел восполняют такие работы Ю. А. Билибина: *“О роли батолитов в золотом оруденении в СССР”* (1945 г.), *“О некоторых чертах металлогении золота”* (1947 г.), *“Общие вопросы металлогении золота”* (1959 г.), *“Диоритовые магмы как первоисточник золотого оруденения”* (1961 г.) и др.

Проблемы взаимосвязи золотого оруденения с интрузивными комплексами и формациями наиболее детально рассмотрены в его монографии *“Общие вопросы металлогении золота”*. Эта работа является библиографической редкостью и не потеряла своего значения до настоящего времени. Теоретические работы Ю. А. Билибина по золоту являются составной частью его металлогенических исследований и заложили основы специальной металлогении золота, так как во главу угла он ставил выявление закономерностей распределения месторождений золота в пространстве и во времени. В этой связи ученый неоднократно подчеркивал значение научных работ С. С. Смирнова по *“металлогении олова”*, которые красной нитью проходят через все его исследования. Точно также в трудах Ю. А. Билибина превалируют его научные изыскания по *“металлогении золота”*. Таким образом, очевидно, что фундаментальные разработки двух гениальных ученых XX века взаимно обогащают и дополняют друг друга, и являются ветвями единого *“учения о металлогении”*.

Как известно, научная деятельность Юрия Александровича была связана с Геологическим комитетом, позднее – ВСЕГЕИ. Там он являлся одним из основоположников нового – *металлогенического направления* в геологической науке и металлогенической школы. Совместно с академиком С. С. Смирновым он впервые сформулировал научные

задачи школы и этого направления науки. *Металлогения предусматривала изучение особенностей месторождений полезных ископаемых в целях установления основных закономерностей распределения разнотипного оруденения в пространстве и во времени, а также совокупности геологических факторов, контролирующих их размещение.*

Ю. А. Билибин, как и С. С. Смирнов, в металлогенической оценке четко различал теоретическую металлогению и специальную – региональную или многоотраслевую. Результаты работ Юрия Александровича по фундаментальным и прикладным металлогеническим исследованиям до сих пор сохраняют свое значение. Особенно это касается металлогении золота.

По высказыванию Ю. А. Билибина, С. С. Смирнов являлся не только основоположником, но и главой металлогенической школы. Именно С. С. Смирнов в области региональной металлогении поставил перед геологами страны целый ряд чрезвычайно острых и важных проблем, указал пути их разрешения, а также наметил дальнейшие цели развития учения о металлогении. Следует отметить, что в течение многих лет Ю. А. Билибина связывала большая дружба с академиком С. С. Смирновым. Их современники отмечают, что *“эта была дружба ученых, стремившихся к одной цели, дружба трогательная, достойная подражания. На наших глазах прошла их короткая жизнь, и заслуживает удивления бескорыстие и взаимопонимание, общее стремление к одной цели, основанное на взаимном признании и уважении, лишенное мелочной зависти”*.

Важно подчеркнуть, что основоположники нового направления в геологической науке руководствовались не абстрактными теоретическими построениями, а необходимостью решения сугубо прикладных задач – обеспечить минеральным сырьем бурно развивающиеся отрасли горно-рудной промышленности государства, разработать научные основы поисков месторождений полезных ископаемых и повысить их эффективность.

Своими трудами Ю. А. Билибин развил учение о металлогении, превратил его в самостоятельную, четко выраженную ветвь геологической науки, определил контуры этого направления геологических знаний и, что самое главное, заложил основы и создал в короткий срок металлогеническую школу. Начало создания этой школы было положено в 1947 г. посредством формирования во ВСЕГЕИ сектора металлогении, объединившего крупных ученых-рудников (П. М. Татаринов, А. И. Семенов, Г. С. Лабазин, В. С. Домарев, М. И. Ициксон, Е. Д. Карпова, А. Д. Щеглов, Д. В. Рундквист и др.), совместно приступивших к разработке темы **“Металлогения СССР”**. В результате этих работ были разработаны основные принципы регионального металлогенического анализа и составлены первые металлогенические карты ряда крупных рудоносных регионов России, Беларуси, Украины. Эти исследования заложили фундамент не только для развития в стране металлогенических работ и создания металлогенической школы, но и привели к укреплению минерально-сырьевой базы рудоносных регионов за счет вновь открытых месторождений.

Научные идеи Юрия Александровича, изложенные им в монографиях и статьях, активно способствовали развитию в стране металлогенической науки, служили сильным катализатором для создания новых металлогенических схем и концепций, становления научных и производственных коллективов, работающих над проблемами выявления закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени. В работах, посвященных металлогении Забайкалья, он с позиций новой концепции развития эндогенной

минерализации в ходе эволюции подвижных зон всесторонне проанализировал закономерности размещения рудных месторождений в пространстве и во времени в связи с магматическими комплексами и наметил положение структурно-металлогенических зон. Его идеи о взаимосвязи магматических и рудных комплексов получили свое дальнейшее развитие во многих исследованиях, посвященных металлогении не только этого, но и других регионов – России, Беларуси, Украины.

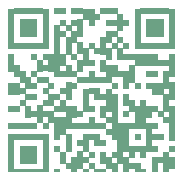
Ю. А. Билибин создал также первую схему эволюции эндогенного оруденения, показал особенности металлогении геосинклинальных зон и на этой основе разработал общие принципы регионального металлогенического анализа. Его основополагающие идеи о необходимости применения историко-геологического подхода к анализу металлогенического развития Земли в различные эпохи, выявлению закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в разных геологических структурах используются при поисках и составлении металлогенических обобщений и карт.

Работы ученого по региональной металлогении оказали также большое влияние на развитие металлогенических исследований не только в Украине, но и в США, и ряде европейских стран. Его книга **“Металлогенические провинции и металлогенические эпохи”** была переведена в Нью-Йорке на английский язык. Известный французский геолог П. Рутье считает, что ведущей современной металлогенической школой является **“билибинская”**, или хронологическо-структурно-формационная.

Замечательной способностью Ю. А. Билибина было умение сплачивать вокруг себя научные и производственные коллективы, воспитывать исследователей-единомышленников, комплексно решающих глобальные научные и производственные проблемы. Он работал, окруженный большими группами геологов-рудников и металлогенистов, с которыми щедро делился знаниями, уверенно вел за собою и увлекал людей. Он был незаурядным человеком, умелым организатором, гениальным ученым, обладающим огромной силой ума и логики. Перед современниками он раскрылся как замечательный ученый, человек смелой и яркой судьбы, который по значению своих научных открытий, размаху ума и организационным способностям входит в когорту лучших людей планеты. Иногда он внешне был суров, часто с жестким взглядом, но за ним он прятал большую и ранимую душу. В кругу друзей он, однако, бывал необыкновенно весел и остроумен, знал и читал стихи, с увлечением спорил об архитектуре и искусстве.

Юрий Александрович открыл большое количество месторождений золота, создал минерально-сырьевую базу золота на Северо-Востоке бывшего СССР, а вместе с академиком С. С. Смирновым обосновал новое направление в геологической науке – **“металлогению”**. И, наконец, он создал свою, крупную **“билибинскую”** школу. По размаху ума, по значению сделанных им открытий его, несомненно, можно поставить в один ряд с такими выдающимися учеными XX века, какими были “три К” – И. В. Курчатов, М. В. Келдыш, С. П. Королев.

Об исследованиях Ю. А. Билибина написаны книги, о его экспедициях слагают легенды, ему установлены памятники, в его честь названы горняцкие поселки, улицы, прииски. А рядом с заполярным поселком **Билибино**, как символ пламенного сердца гениального ученого, работает атомное сердце новой электростанции. Металлогеническое направление, разработанное С. С. Смирновым и Ю. А. Билибиным, в Украине продолжили выдающиеся украинские геологи-металлогенисты – Я. Н. Белевцев, Л. С. Галецкий, Е. Ф. Шнюков и др.



mru-journal.com.ua



Завідувач редакції — С. О. НЕКРАСОВА
Літературні редактори-коректори —
Я. І. ВОЗНЮК, Р. В. КОРНІЄНКО
Технічні редактори — С. І. ВИШНИЦЬКА, І. О. НАГОРНИХ
Комп'ютерне верстання — Б. І. ВОЛИНЕЦЬ
Художній редактор — Б. І. ВОЛИНЕЦЬ

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7469 від 5.10.2021 р.
Здано до набору 19.10.2021
Підписано до друку 28.12.2021
Формат 60х90 ¹/₈
Папір крейдований
Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 6,5
Обл.-вид. арк. 9. Тираж 300 прим.
Зам. № 332

Адреса редакції та n/n: Київ-114, вул. Автозаводська, 78-А
E-mail: press.ukrdgri@gmail.com
<https://mru-journal.com.ua>
 <https://www.facebook.com/mrujournal>