

ISSN 1682-721X

# МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ MINERAL RESOURCES of UKRAINE УКРАЇНИ



ISSN 1682-721X



9 771682 721002

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC JOURNAL

2'2019

## МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Науковий журнал, виходить 4 рази на рік,  
червень, 2019 р.  
Видається з 01.03.1994 р.

## MINERAL RESOURCES OF UKRAINE

Scientific journal, is published 4 times per year,  
June, 2019  
Published since 01.03.1994

УДК 55(477)(051)  
ББК 26.3(4УКР)Я5  
М61

## ЗАСНОВНИК / FOUNDER

Український державний геологорозвідувальний інститут  
Ukrainian State Geological Research Institute

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

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

## ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР / EDITOR-IN-CHIEF:

Сергій Володимирович Гюшовський  
Sergii Volodymyrovych Goshovskiy

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ / EDITORIAL TEAM:

О. В. Зур'ян / O. Zurian  
(заст. головної редактора / Deputy editor)  
С. О. Некрасова / S. Nekrasova  
(відповідальна секретарка / Executive secretary)

Ю. І. Войтенко / Yu. Voitenko, Л. В. Ісаков / L. Isakov,  
М. М. Костенко / M. Kostenko, О. В. Кравченко /  
O. Kravchenko, М. Д. Красножон / M. Krasnozhon,  
Е. Д. Кузьменко / E. Kuzmenko, Я. Г. Лазарук / Ya. Lazaruk,  
О. О. Ліхощерстов / O. Likhosherstov, Н. Г. Люта / N. Lyuta,  
Г. Г. Лютий / G. Lyutyi, О. І. Ляшенко / O. Liashenko,  
В. А. Михайлов / V. Mukhailov, О. В. Плотніков /  
O. Plotnikov, О. М. Пономаренко / O. Ponomarenko,  
В. Л. Приходько / V. Prykhodko, Г. І. Рудько / G. Rudko,  
В. М. Хоменко / V. Khomenko, М. М. Шаталов /  
M. Shatalov, Є. О. Яковлев / Ye. Yakovlev

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЯ / 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. Шапмаз / A. Şapmaz, Шенжі Юнг / Chenggui Jing

Відповідальний за випуск / Responsible for the issue:  
О. А. Лисенко / O. Lysenko

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

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

Рекомендовано до друку вченою радою УкрДГРІ  
протокол № 1 від 18.03.2019 р.

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

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

Наукове видання внесено до переліку наукових  
фахових видань України з геологічної  
й технічної галузей науки.

Накази Міністерства освіти та науки України  
№ 515 від 16.05.2016 р., № 820 від 11.07.2016 р.

Журнал індексується в Google Scholar.  
2016 року його зареєстровано в системі  
Index Copernicus з індексом ICV2017 = 63.96.  
З лютого 2019 р. журнал унесено в базу DOAJ.

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

© УкрДГРІ, 2019

2/2019

## ЗМІСТ / CONTENTS

### **В. М. ШЕСТОПАЛОВ, Г. Г. ЛЮТИЙ, І. В. САНИНА/ V. SHESTOPALOV, H. LYUTYI, I. SANINA**

Сучасні підходи до гідрогеологічного районування України  
Modern approaches to hydrogeological zoning of Ukraine

3

### **М. М. ЗІНЧУК/М. ZINCHUK**

Особливості глинистих мінералів у давніх корах вивітрювання  
різних порід в алмазонасних регіонах  
Specific features of clay minerals in ancient crusts  
of weathering of various rocks in diamondiferous regions

13

### **В. П. ЧЕПІЛЬ/В. СHERIL**

Особливості проведення геологорозвідувальних робіт  
на сланцевий газ Волино-Поділля на регіональній стадії  
вивчення Features of conducting of geological exploration  
on shale gas in Volyno-Podillia at the regional stage of studying

21

### **Ад. А. АЛІЄВ, А. Я. КАБУЛОВА, Р. Р. РАХМАНОВ/ Ad. ALIYEV, A. KABULOVA, R. RAHMANOV**

Газогідрати, газові факели і покмарки  
в зонах розвитку мулового вулканізму Середземного,  
Чорного і Каспійського морів  
Gashydrates, gas seeps and pockmarks in the zones  
of development of mud volcanism Mediterranean,  
Black and Caspian seas

25

### **А. В. БАЛЕГА, М. М. КУРИЛО/А. VALEGA, M. KURYLO**

Особливості фінансування та організації геологічного вивчення  
вітчизняних залізородних родовищ  
Domestic peculiarities of financing and organizing geological  
research of iron ores

34

### **Г. І. РУДЬКО, Ф. М. ІСАТАЄВА, В. С. ПОРТНОВ/Г. RUDKO, F. ISSATAYEVA, V. PORTNOV**

Геолого-економічна оцінка родовищ рудних корисних копалин  
на основі РК ООН 2009 (на прикладі Кусмуринаського родовища  
міді в Республіці Казахстан)  
Geological and economic assessment of ore mineral deposits  
based on UN Framework Classification 2009 (on example  
of Kusmurn copper field in the Republic of Kazakhstan)

40

### **В. Г. ГРІНЬОВ, А. О. ХОРОЛЬСЬКИЙ, О. П. КАЛІУЩЕНКО/ V. HRINOV, A. KHOROLSKYI, O. KALIUSHCHENKO**

Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння  
цінних родовищ корисних копалин  
Elaboration of environmental scenarios for the effective  
development of valuable mineral deposits

46

75 років ННІ “Інститут геології” Київського національного  
університету імені Тараса Шевченка!  
75 years of the ESI “Institute of Geology”,  
Kyiv National Taras Shevchenko University

51

УДК 556.3(477)(084.2)

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.3-12>

**В. М. ШЕСТОПАЛОВ**, д-р геол.-мінерал. наук, академік НАНУ (Інститут геологічних наук НАНУ), м. Київ, Україна,

**Г. Г. ЛЮТИЙ**, канд. геол.-мінерал. наук, провідний науковий співробітник (Український державний геологорозвідувальний інститут), м. Київ, Україна, [ekogeol@ukr.net](mailto:ekogeol@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3429-9322>,

**І. В. САНИНА**, завідувачка відділу (Український державний геологорозвідувальний інститут), м. Київ, Україна, [ekogeol@ukr.net](mailto:ekogeol@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-6592-9625>

**V. SHESTOPALOV**, doctor of geological and mineralogical sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine (Institute of Geological Sciences NASU), Kyiv, Ukraine,

**H. LYUTYI**, candidate of geological and mineralogical sciences, leading scientific researcher (Ukrainian State Geological Research Institute), Kyiv, Ukraine, [ekogeol@ukr.net](mailto:ekogeol@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3429-9322>,

**I. SANINA**, head of the department of Hydrogeological and Ecological and Geological Research (Ukrainian State Geological Research Institute), Kyiv, Ukraine, [ekogeol@ukr.net](mailto:ekogeol@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-6592-9625>

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО РАЙОНУВАННЯ УКРАЇНИ

## MODERN APPROACHES TO HYDROGEOLOGICAL ZONING OF UKRAINE

У статті окреслено підходи до гідрогеологічного районування України за структурно-гідрогеологічним принципом. Відповідно до прийнятої схеми гідрогеологічного районування на території країни автори виділили 10 гідрогеологічних регіонів першого порядку з притаманними їм особливостями геолого-гідрогеологічного розрізу порід та регіональними закономірностями гідрогеологічних умов. Стисло охарактеризовано гідрогеологічні регіони України першого порядку.

**Ключові слова:** *гідрогеологічне районування, структура, водоносна система.*

The article describes the approaches to the implementation of hydrogeological zoning of Ukraine according to the structural-hydrogeological principle. In accordance with modern geostructural zoning in the Ukraine, the authors identified 10 hydrogeological regions of the first order. Each of the identified regions is characterized by its own peculiarities of the geological and hydrogeological structure, and as well as regional peculiarities of hydrogeological conditions. These patterns determine the conditions for the formation and distribution of the predicted groundwater resources and their quality indicators. The features of Ukraine's hydrogeological regions of the first order are briefly characterized.

**Keywords:** *hydrogeological zoning, structure, aquifer system.*

Гідрогеологічне районування є однією з головних проблем регіональної гідрогеології. Воно полягає у виділенні окремих таксономічних одиниць з подібними умовами формування підземних вод, дає змогу обґрунтувати підходи до виконання гідрогеологічних досліджень у межах тих чи інших таксонів, створювати відповідні методики з проведення гідрогеологічних робіт у цих районах, зокрема під час оцінки прогнозних експлуатаційних ресурсів підземних вод, розробляти обґрунтовані вимоги до картування і картографування їхніх гідрогеологічних особливостей.

Проблемі гідрогеологічного районування надавало уваги дуже багато видатних учених [1–14, 16–18]. Переважна більшість з них виділяла як таксони першого порядку гідрогеологічні складчасті області та артезіанські басейни, що в загальному вигляді є аналогами відповідних піднятих і опущених геологічних структур [4, 9, 7, 8, 9].

У разі застосування в умовах України цих термінів, на нашу думку, виникає низка невідповідностей.

Зокрема, це стосується поняття “артезіанський басейн”. У класичному випадку артезіанський басейн утворюється мульдоподібним чи грабеноподібним кристалічним ложем, на якому поверхово залягають водоносні горизонти й роздільні шари. Зазвичай кожен басейн має два схили або круглясту форму. В Україні таким вимогам відповідає лише Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн. З певним припущенням за такими критеріями можна зарахувати до басейнів і Причорноморський артезіанський басейн, а саме його південне крило, розміщене в рівнинному Криму. На більшій частині свого поширення Причорноморський басейн у гідрогеологіч-

ному сенсі має моноклінальну структуру. Волино-Подільський басейн також більш подібний на монокліналь, якщо оцінювати виділення з позицій використання водних ресурсів для забезпечення потреб суспільства. Прикарпатський басейн взагалі має гідрогеологічне значення лише в тій частині розрізу, яка складена четвертинними відкладами. Не багато в цьому плані від нього відрізняється Закарпатський басейн.

Виділені складчасті гідрогеологічні області також суттєво відрізняються одна від одної. Так Карпатська вирізняється незначною обводненістю через відповідний, переважно глинистий, склад флішових порід, а також інтенсивність денудаційних процесів, що ускладнюють формування зон екзогенної тріщинуватості, які є основними місцями накопичення й руху підземних вод. У кристалічних породах гідрогеологічної області Українського щита ці зони набули великого поширення, що забезпечило на окремих ділянках формування досить потужних обводнених зон і відповідно можливість організації завдяки підземним водам водопостачання більшості населених пунктів. У Гірському Криму інтенсивно закарстовані карбонатні породи юри також забезпечили формування досить потужного карстового водоносного горизонту. Складчаста гідрогеологічна область Донбасу є взагалі унікальною не тільки в Україні, а й на теренах усього колишнього Радянського Союзу. Тут також обводненість пов'язана з тріщинуватістю й закарстованістю.

Як бачимо із цього стислого огляду, через велику різноманітність структур, де накопичуються підземні води, їхнє визначення на рівні басейну й області, яке б повною мірою відображало індивідуальні гідрогеологічні особливості, майже неможливе. Тому автори цієї статті запропонували термін “водоносна система”, який, на нашу думку, є узагальнюваль-

ним терміном для виділень першого порядку в межах України попри розмаїтість їхніх гідрогеологічних умов [17].

Усього на території України виділено 10 водоносних систем (ВС) першого порядку, для яких притаманні певні особливості геолого-гідрогеологічного розрізу порід та регіональні закономірності гідрогеологічних умов (див. рис. 1):

Закарпатська водоносна система,  
 Карпатська водоносна система,  
 Передкарпатська водоносна система,  
 Водоносна система Українського щита,  
 Волино-Подільська водоносна система,  
 Дніпровсько-Донецька водоносна система,  
 Донбаська водоносна система,  
 Причорноморська водоносна система,  
 Північнодобрудзька водоносна система,  
 Водоносна система Гірського Криму.

Під час розроблення цього варіанта гідрогеологічного районування автори використали матеріали тектонічної карти України масштабу 1:1 000 000, яку 2007 року підготував С. С. Круглов та ін. [15].

Деякі слів потрібно сказати стосовно принципів проведення границь між зазначеними системами, оскільки геолого-структурні границі будь-якого гідрогеологічного району першого порядку для наших цілей зазвичай не мають жодного сенсу, якщо вони суттєво не відбилися на етапі розвитку сучасних гідрогеологічних умов.

Зокрема, дуже дискусійними є такі гідрогеологічні райони першого порядку, як Азово-Кубанський та Рівнинно-Кримський артезіанські басейни, які виділили наші попередники в межах Причорноморської водоносної системи [4].

Азово-Кубанський артезіанський басейн приурочений до Індольського прогину і Приазовської частини Східноєвропейської платформи. Індольський прогин тут представлений західною окраїною олігоцен-міоценової депресії, що охоплює в межах Скіфської епіорогенної зони північно-східну частину Кримського півострова, точніше навіть північну частину Керченського півострова. Виповнена ця депресія переважно породами глинистого складу, які не містять горизонтів підземних вод, що мають практичне значення. Водночас зазначимо, що водоносні горизонти, які визначають характерні особливості гідрогеологічних районів першого порядку і в межах власне Скіфської епіорогенної зони, і в межах частини ускладненої накладеним Індольським прогином, точніше його окраїною, є однаковими в гідрогеологічному сенсі, з однаковими умовами формування підземних вод.

Зауважимо, що накладена структура Індольського прогину не єдине ускладнення фундаменту Скіфської епіорогенної зони. Крім нього, тут встановлені також структури Альмінської западини, Новоселівського, Сімферопольського, Тарханкутського підняття. Але в гідрогеологічному сенсі на всій території Рівнинного Криму виділяється єдина товща порід нижнього-середнього міоцену, а в пониженнях ділянках – також палеогену та верхньої крейди з водоносними підрозділами, що забезпечують потреби суспільства в питній воді. Ці одновікові утворення різної потужності з однаковим літолого-фаціальним складом залягають субгоризонтально і в межах Причорноморської монокліналі, і в межах Рівнинного Криму. Це свідчить про єдність умов їхнього формування й відповідно підтверджує обґрунтованість зарахування частини Азово-Кубанського артезіанського басейну, що прилягає

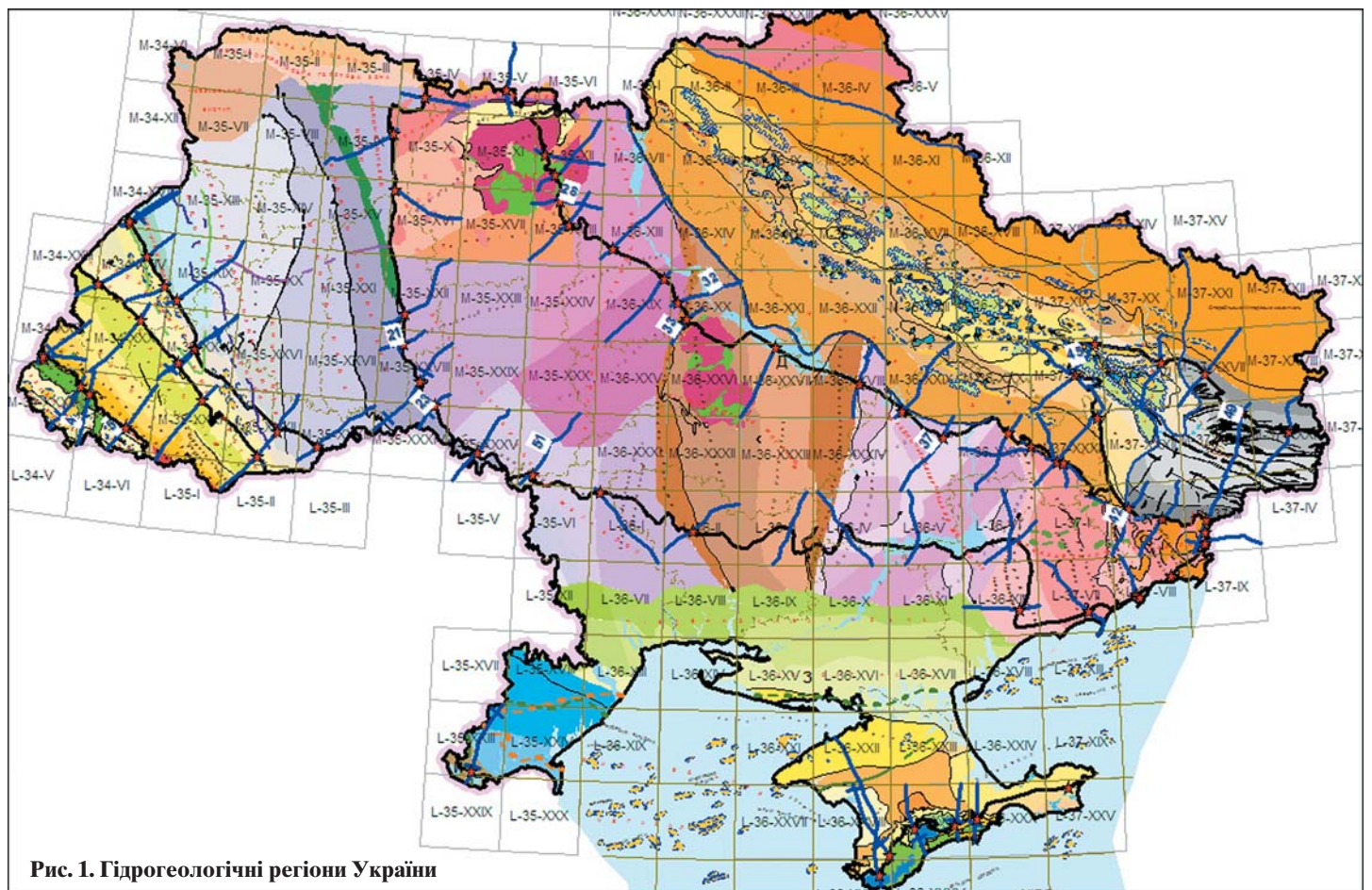


Рис. 1. Гідрогеологічні регіони України

до Приазовської частини Українського щита, а також Рівнинно-Кримського артезіанського басейну, які виділили різні автори, до Причорноморської водоносної системи.

Дещо інші підходи застосували автори на заході Причорноморського артезіанського басейну в тій його частині, де Південноукраїнська монокліналь, що є частиною Східноєвропейської платформи, межує з Переддобрудзьким прогином.

М. А. Шинкаревський і С. А. Рубан [18] на південний захід від Причорноморського басейну пластових напірних вод виділили Молдавський, Придобрудзький і Припрутський басейни пластових напірних вод. Щодо Молдавського й Придобрудзького басейнів, то під час їхнього виділення, очевидно, було взято до уваги Внутрішню і Зовнішню зони Переддобрудзького прогину, сформовані в ранньоальпійську епоху тектогенезу: перша – на фундаменті Скіфської епіорогенної структури, друга – на фундаменті Східноєвропейської платформи. Але за такого районування не було враховано, що в пізньоальпійську фазу тектогенезу на основі зазначених двох структур утворився однорідний Переддобрудзький прогин, вповнений верхньокрейдово-четвертинними карбонатно-теригенними та теригенно-глинистими відкладами. Західний сегмент Південноукраїнської моноклінали, у межах якої виділяється Причорноморський басейн, характеризується поширенням комплексу теригенно-карбонатних і теригенно-глинистих порід альб-четвертинного віку, аналогічного утворенням Переддобрудзького прогину. Тобто підземні води, що формуються в межах зазначених структур у цій частині, приурочені до одновікових переважно піщано-карбонатних відкладів, які майже субгоризонтально перекидають різновікові раніші утворення. Загальний напрямок руху підземних вод тут однаковий і спрямований з півночі на південь. Тому межу Причорноморської водоносної системи в цій частині автори поширили до границі з Прутським виступом Північної Добруджі, де виділяється Північнодобрудзька водоносна система. Фундамент останньої представлений складнодислованими метаморфічними комплексом зелених сланців, перероблених байкальськими, герцинськими, новокімерійськими рухами з малопотужним чохлам неогенових (переважно глинистих) та алювіальних четвертинних відкладів.

Крім того, заслуговує на критику виділення Донецько-Донського артезіанського басейну, яке зробили попередні дослідники. У вісімдесяти роки ХХ століття межу між Дніпровським і Донецько-Донським артезіанськими басейнами проводили по вододілу Дніпра й Дону [12]. На нашу думку, такі підходи суперечили структурно-гідрогеологічним принципам виділення гідрогеологічних районів першого порядку, оскільки в цьому разі йдеться лише про зміну напрямку фільтрації підземних вод унаслідок дренального впливу двох потужних річкових систем. Тобто до структурно-гідрогеологічного принципу був доданий водообмінний, з чим не можна погодитися.

Інші автори [18] провели межу між Дніпровським і Донецько-Донським басейном по східному контуру поширення тріасових відкладів, які відображають межі активізації занурення Дніпровсько-Донецької западини в мезозої. Розріз порід на схід від зазначеної межі складений мергельно-крейдяною товщею верхньої крейди та типовими для Дніпровсько-Донецької западини утвореннями карбону. У структурному плані тут виділяється Старобільсько-Міллерівська монокліналь, яка є по суті продовженням північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької западини. Вважаємо, що межа між

ДДЗ і монокліналю поділяє гідрогеологічні виділення другого порядку, тому в цій праці докладно не розглядаємо її. Також додамо, що підземні води, які використовує населення, у межах зазначеної моноклінали приурочені здебільшого до тріщинуватої зони мергельно-крейдяної товщі, яка поширюється також і в межах Дніпровського басейну. Водночас згадана межа штучно поділяє водоносний горизонт у мергельно-крейдяній товщі попри геоморфологічні особливості, які мають провідне значення у формуванні проникності цих порід. Тобто такий поділ не повною мірою коректний.

На нашу думку, межі між водоносними системами часто формуються поступово у вигляді широких перехідних зон, а не лінійними вузькими структурними границями регіонів. Зокрема, це стосується границі між гідрогеологічними структурами Дніпровсько-Донецької западини і складчастої області Донбасу, а також Українського щита і Причорноморської западини.

У першому випадку границя умовно проводиться по Криворізько-Павлівському скиду, а потім у північному напрямку по контуру тріасових і домезозойських відкладів на західних схилах Мечибилівського і Волвенківського куполів. У другому випадку була врахована обводненість кристалічних порід Українського щита, розвиток якої визначено за даними результатів гідрогеологічного буріння, але все ж таки певною мірою умовно. Такою є межа між гідрогеологічними структурами Українського щита та Причорноморської западини.

В окремих випадках, коли поруч зі структурною границею регіону, яка суттєво не впливає на гідрогеологічні граничні умови, протікає велика річка, що є важливою граничною умовою під час оцінки експлуатаційних ресурсів і запасів підземних вод, то перевагу віддавали саме гідрогеологічній, а не структурній границі. Така ситуація, зокрема, склалася на відрізку р. Дніпро між містами Черкаси і Дніпро, де саме р. Дніпро визначає межові умови формування підземних вод в основному бучацькому водоносному горизонті, а не структурна границя між Українським щитом і Дніпровсько-Донецькою западиною.

Попередники запропонували для обґрунтування виділення гідрогеологічних структур першого порядку використовувати принцип єдиного трендового напрямку руху підземних вод [12]. Але трендовий напрямок руху забезпечується для верхніх гідродинамічних зон (інтенсивного або активного і значного водообміну – глибини до 500–1500 м) не так структурою (наприклад, нахилом водовмісних геологічних шарів), як орографічними особливостями території. Дійсно, якщо подивитися на основні тренди руху підземних вод у Волино-Подільській водоносній системі, то вона поділяється майже навпіл на північну, Волинську, і південну, Подільську, частини з відповідним північним і південним трендом руху підземних вод. Це пов'язано з наявністю Подільської височини, у найбільш піднятій частині якої виділені такі узвишся – Розточчя, Гологори, Вороняки, Кременецькі гори тощо. Із цих узвиш підземний стік спрямований до двох регіональних субширотних дренажів: на півночі – р. Прип'ять, а на півдні – р. Дністер.

Така сама ситуація щодо трендів руху склалася в Дніпровсько-Донецькому басейні. Попри наявність у центральній частині артезіанського басейну повздовжнього грабена з підвищеною потужністю осадових порід, основний тренд руху підземних вод верхніх гідродинамічних зон спрямований на південний захід, до регіональної дренажної – р. Дніпро. А в невеликій північно-за-

хідній частині басейну основний тренд руху спрямований у протилежному напрямку – на північний схід, і теж до р. Дніпро.

Отже, оскільки головною ознакою виділення гідрогеологічних структур першого порядку є єдність колекторських особливостей водовмісних порід і їхнє співвідношення з роздільними утвореннями, а також наявність підземних вод для задоволення потреб населення, то орографічні особливості території, що зумовлюють основний тренд руху підземних вод, не є визначальними для районування за структурно-гідрогеологічним принципом. Це також означає, що границі одиниць такого районування переважно є геолого-структурними, але в тому разі, якщо вони відповідають гідрогеологічному змісту. Коли ж структурна границя слабо чи взагалі не враховує гідрогеологічних умов, її можна замінити гідрогеологічною границею, про що йшлося вище.

Нижче наведено стислий опис гідрогеологічних регіонів України першого порядку, виділених на структурно-гідрогеологічних принципах.

### 1. Закарпатська водоносна система

Закарпатська ВС приурочена до Закарпатського внутрішнього прогину (міжгірської западини), вивпненого потужним комплексом неогенових молас, що залягають на складнодислокованому гетерогенному фундаменті і перекриті четвертинними та четвертинно-пліоценовими водонесними відкладами. Товща молас представлена уламковим матеріалом, хомогенними (кам'яна сіль) та вулканічними утвореннями. Закарпатська ВС ускладнена накладеними вулканогенними утвореннями міоцен-пліоценового віку Вигорлат-Гутинського хребта, який ділить її на Чоп-Мукачівську і Солотвинську ВС другого порядку.

На півдні і заході Закарпатська ВС виходить за межі України, на півночі й північному сході її границя проходить по контуру поширення неогенового водонесного горизонту, відділяючи Закарпатський прогин від Карпатської водоносною системи (див. рис. 2).

З огляду на структурні особливості, геологічну будову, характер обводнення й фільтраційні властивості гідрогеологічних підрозділів, ця територія в гідрогеологічному сенсі досить складна. Це підтверджується невтриманим поширенням водонесних шарів, їхніми складними взаємовідносинами в розрізі і нерівномірним обводненням водовмісних порід у просторі. Виняток у цьому плані становлять водонесні утворення четвертинного та пліоценового віку, які плащоподібно залягають на корінних породах і дуже поширені в межах ВС.

Підземні води питної якості тут здебільшого пов'язані з алювіальними четвертинними відкладами, пліоценовими осадовими та ефузивними утвореннями. Мінералізація цих вод звичайно не перевищує 1,0 г/дм<sup>3</sup>, що забезпечує їхнє широке використання для господарсько-питного водопостачання.

### 2. Карпатська водоносна система

Карпатська ВС структурно приурочена до однойменної гірської системи – альпійської складчастої споруди з гірським рельєфом. Вона складена потужними, дуже дислокованими флішовими товщами крейдяного та палеогенового віку. Границя Карпатської ВС із Передкарпатською ВС проходить по контакту з Внутрішньою та Бориславсько-Покутською зоною Передкарпатського прогину, яка складена теригенними, суттєво галогенними, моласовими породами, утвореними в умовах рухливої шовної зони, що відіграла буферну роль області зчленування платформи з молодою флішовою міогеосинкліналлю (див. рис. 2).

Підземні води Карпатської водоносною системи приурочені до верхньої тріщинуватої зони корінних порід, яка поширюється на глибину до 200 м. Характерна особливість гідрогеологічних умов території – нерівномірна і загалом незначна водозбагаченість, що визначається невисокими фільтраційними властивостями водовмісних порід та їхньою інтенсивною дислокованістю.

Унаслідок з максимальними для території України атмосферними опадами в корінних породах формуються сла-

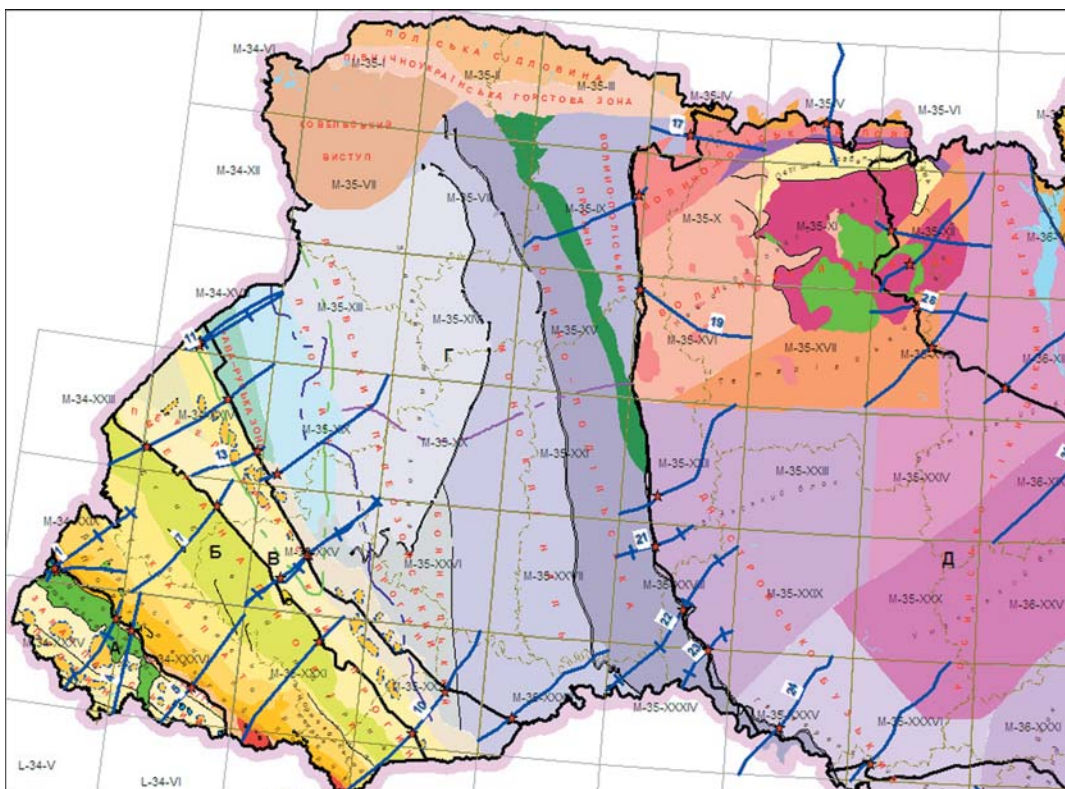


Рис. 2. Границі Закарпатської, Карпатської, Передкарпатської, Волино-Подільської ВС та ВС Українського щита

бообводнені тріщинуваті зони, що не можуть забезпечити, за умови використання традиційних методів видобутку підземних вод, дебіти водозабірних споруд, які б задовольняли потреби централізованого водопостачання навіть незначних водокористувачів.

З огляду на викладене вище найперспективнішими є водоносні алювіальні гравійно-галькові утворення. Але у зв'язку з активним переміщенням цих відкладів у просторі під час паводків, які в Карпатах є дуже бурхливими, створення водозаборів на алювіальний водоносний горизонт здебільшого є проблемним.

Зазначені чинники ускладнюють гідрогеологічні умови Карпатської ВС.

Води переважно прісні. У південно-західній частині району в зонах глибинних розломів у корінних тріщинуватих породах ці води часто збагачені вуглекислотою. Водночас спостережено і ріст мінералізації.

### 3. Передкарпатська водоносна система

Передкарпатська ВС розміщується вздовж північно-східного краю Карпатської водоносної системи. Границя між цими гідрогеологічними виділеннями проходить по південно-західному контуру моласових утворень воротищенської світи міоцену (рис. 2). На північному сході Передкарпатська ВС межує по контуру поширення відкладів дашавської світи з водоносними горизонтами в платформних відкладах Волино-Подільської водоносної системи (рис. 2).

Для гідрогеологічних умов характерна наявність у розрізі корінних, переважно слабопроникних глинистих відкладів, окремих водоносних піщаних і пісковикових прошарків, водоносність яких є низькою. До того ж приурочені до цих прошарків води зазвичай вирізняються підвищеною мінералізацією, що унеможливає їхнє використання для потреб водопостачання.

У межах розвитку соленосних відкладів підземні води поширені в зоні вилуговування, яка відоміша під назвою "гіпсово-глиниста шляпа". У зоні соляного дзеркала цієї "шляпи" формуються високомінералізовані розсоли хлоридного натрієвого складу, які використовують як промислові для видобутку високоякісної кухонної солі, а також сульфатно-хлоридні магнієво-натрієві унікальні лікувальні розсоли, які широко застосовують для лікування на Моршинському та Трускавецькому курортах.

Придатні для господарсько-питного використання в цьому районі лише підземні води, приурочені до алювіальних пліоцен-четвертинних відкладів. Водоносний горизонт у цих відкладах слугує основним джерелом водопостачання для багатьох міст Передкарпаття, зокрема Львова, Івано-Франківська, Калуша та ін.

### 4. Волино-Подільська водоносна система

Волино-Подільська водоносна система розміщується в межах двох великих геологічних структур – Східноєвропейської і Західноєвропейської платформ. На півночі, заході та півдні ця водоносна система виходить за межі України, на південному заході межує з Передкарпатською водоносною системою по контуру поширення водоносних горизонтів у платформних відкладах (рис. 2), а на сході – з водоносною системою Українського щита по контуру поширення водоносних горизонтів у вендських і рифейських відкладах (рис. 2). Попри складну тектоніку цієї структури, у межах тієї частини розрізу, що визначає її гідрогеологічні особливості, вона являє собою монокліналь, що занурюється в західному й південно-західному напрямках. Найзануреніша частина супро-

воджується збільшенням потужностей крейдових і карбонових відкладів та уособлюється у Львівський палеозойський прогин (мульду).

Волино-Подільська ВС являє собою багатопверхову систему водоносних горизонтів, кількість яких збільшується в західному й південно-західному напрямку. Особливістю цієї структури є відсутність чітко окреслених прошарків слабопроникних відкладів, які розділяють водоносні горизонти від крейдового до давніших. Водовмісні і водотривкі породи в цьому разі є одновіковими, а відмінності у водопроникності між ними не завжди чітко окреслені. Для гідрогеологічного розрізу ВС характерне переважання тріщинно-порових колекторів, що є нетиповим для артезіанських басейнів.

У Волино-Подільській ВС поширені водоносні горизонти в четвертинних, міоценових, верхньокрейдяних утвореннях та в зоні тріщинуватості домезозойських порід (кам'яновугільні, девонські, силурійські, кембрійські, вендські, рифейські). Особливістю ВС є наявність потужної (до 1000 м і більше) зони прісних вод у східній і північній її частинах. У західній частині ВС вона зменшується до 150–70 м.

Водовмісні міоценові відклади залягають переважно на вододілах Подільської височини, прорізаних долинами лівих приток Дністра і верхів'ями річок Західний Буг, Іква, Вілія, Горинь. Найбільш водозбагачений комплекс неогенових відкладів у західній частині, чому сприяє значна кількість атмосферних опадів, що переважає 700 мм/рік. Досить тривалий час, до другої половини XX століття, цей комплекс, зокрема, забезпечував потреби такого великого міста, як Львів.

Найпоширеніший на території ВС водоносний горизонт зони інтенсивної тріщинуватості мергельно-крейдяних порід сенон-турону. У межах центральної частини басейну та у верхів'ях приток Дністра цей горизонт залягає переважно першим від поверхні, на решті території перекривається водоносними четвертинними й міоценовими відкладами. Він вирізняється складною фільтраційною неоднорідністю. Найперспективнішими зазвичай є ділянки в долинах річок, де тріщинуватість найінтенсивніша і має найбільшу глибину розвитку до 80 м. Цей водоносний горизонт широко використовують для розв'язання проблем водопостачання таких великих населених пунктів, як Львів, Тернопіль, Луцьк, Ковель тощо.

У східній частині ВС поширені водоносні горизонти у сеноманських, вендських і рифейських відкладах, завдяки яким здійснюється водопостачання міст Хмельницький, Рівне, Вараш (у 1977–2016 рр. Кузнецовськ) та ін.

У межах східного крила Львівського палеозойського прогину відомий водоносний горизонт у тріщинуватих і закарстованих девонських відкладах. Обводненість цих порід установлена до глибини 400 м, але найбільш водозбагачений інтервал зафіксований на глибинах 100–200 м. До цього водоносного горизонту приурочені централізовані водозабори м. Львова. Для водопостачання низки районних центрів Хмельницької і Тернопільської областей використовують також водоносний горизонт у силурійських тріщинуватих вапняках.

З глибиною фільтраційні характеристики домезозойських відкладів різко погіршуються і їхня участь у формуванні ресурсів підземних вод стає незначною.

### 5. Водоносна система Українського щита

Водоносна система Українського щита структурно пов'язана з Українським щитом – великим підняттям давнього кристалічного фундаменту. На півночі її границя з Прип'ятською ВС системою розломів проходить по контуру

мезо-палеозойських відкладів і майже збігається з державним кордоном України з Білоруссю (див. рис. 3). У межах української частини Прип'ятської ВС у нечисленних на цій території населених пунктах для практичних потреб використовують тільки ґрунтові води.

На заході ВС Українського щита по контуру поширення рифейського і вендського водоносних горизонтів межує з Волино-Подільською ВС (рис. 2).

Північно-східна межа цієї структури відділяє її від Дніпровсько-Донецької ВС і від державного кордону до м. Черкаси проводиться по контуру поширення водовмісних крейдових відкладів (див. рис. 3).

Як уже підкреслено вище, між містами Черкаси та Дніпро ця границя проводиться по р. Дніпро, а далі, зокрема з Донецькою ВС, по контакту кристалічних порід з відкладами карбону, на окремих ділянках – девону (див. рис. 3).

Південна межа (із заходу на схід) з Причорноморською ВС проводиться по контуру поширення водоносного горизонту у відкладах крейдової системи (див. рис. 3) до р. Мертвод (за 6 км на північний схід від м. Вознесенська).

Північно-східна границя з Причорноморською ВС проходить по лінії, що відділяє ту частину Українського щита, у межах якої обводненість кристалічних порід підтверджена результативними гідрогеологічними свердловинами. Цей контур зазвичай збігається з ізолінією потужності 100-метрової товщі неогенових відкладів на вододілах (див. рис. 4) і ведеться у східному напрямку до с. Новоандріївки Запорізької області. Від с. Новоандріївки границя між ВС Українського щита і Причорноморською ВС повертає на південь і проводиться по лінії Приазовського глибинного розлому, з яким майже збігається контур поширення відкладів верхньокрейдového водоносного горизонту Причорноморської западини. Далі зазначена границя стрімко, під кутом, повертає на схід – північний схід і в цьому напрямку проводиться по Бердянському глибинному розлому скидового типу, що відділяє кристалічний фундамент Приазовського блока Українського щита від Причорноморської западини,

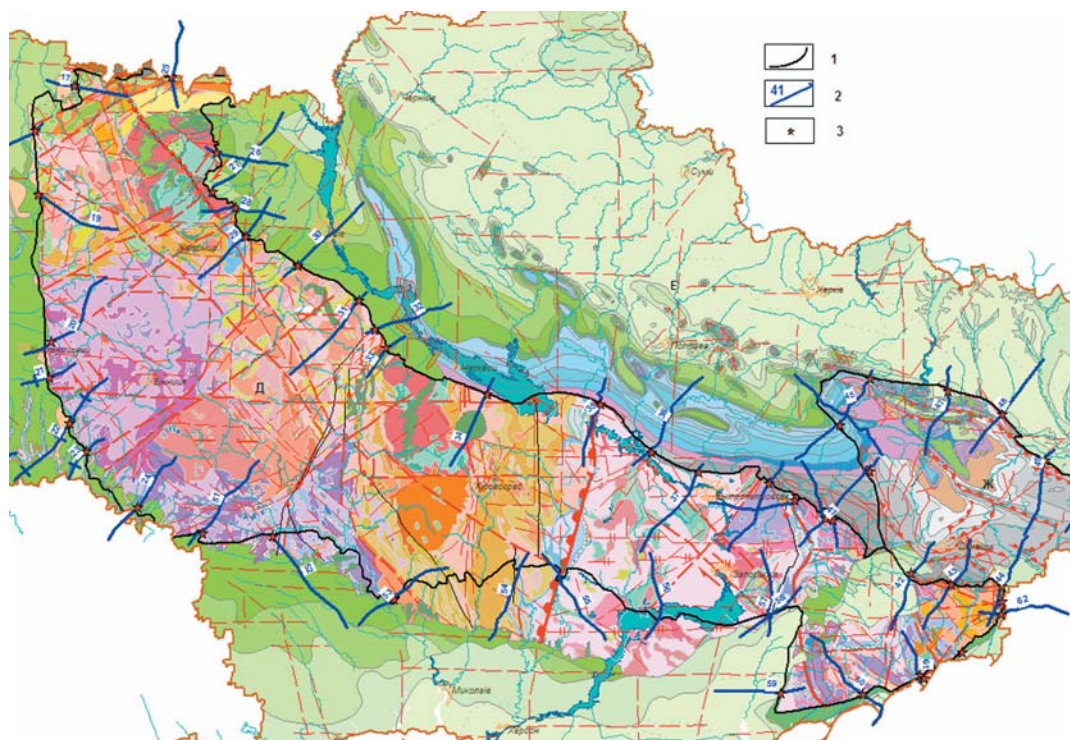
у межах якої крейдові, палеогенові та неогенові відклади занурюються на велику глибину й різко нарощують потужність (див. рис. 3).

У крайній південно-східній частині розмежування ВС Українського щита з Причорноморською ВС і Донецькою ВС здійснюється по крейдових відкладах, що виповнюють Єланчицьку западину, більша частина якої розміщена за межами України.

У розрізі ВС Українського щита виділяються два структурні поверхи. Нижній поверх складений метаморфізованими дислокованими породами магматичних і метаморфічних утворень архею-протерозою, верхній – осадовими відкладами мезо-кайнозою.

Гідрогеологічні умови цієї структури насамперед визначаються особливостями підземних вод зони тріщинуватості кристалічних порід докембрійського фундаменту, складеного різноманітними метаморфічними та магматичними утвореннями, серед яких переважають гнейси, граніти і мігматити. Геофільтраційні властивості кристалічних порід зумовлені їхню дуже нерівномірною ендо- та екзогенною тріщинуватістю за площею та на глибину, що також визначає нерівномірний ступінь їхнього обводнення. Загалом найбільш обводнені зони приурочені до понижених ділянок сучасного рельєфу, що збігаються із розвинутою гідрографічною мережею й великими балками. Ці зони пов'язані з успадкуванням гідрографічною мережею тектонічних порушень та інтенсивним розвитком у них процесів вивітрювання. Приуроченість зон розвантаження підземних вод до річкових долин, крім того, сприяє більшій промитості тріщин від продуктів вивітрювання та збільшенню швидкості руху підземних вод, порівнюючи з вододільними просторами. Потужність зон інтенсивної тріщинуватості часто не перевищує 20 м від поверхні кристалічних порід на вододілах та 50 м у долинах річок і становить зазвичай 80–100 м від сучасної поверхні.

Кора вивітрювання кристалічних порід безпосередньо визначає умови їхнього взаємозв'язку з водоносними гори-



**Рис. 3. Границі ВС Дніпровсько-Донецької, Донбаської, Причорноморської та ВС Українського щита**

1 – границі гідрогеологічних регіонів, 2 – лінія гідрогеологічного розрізу, що обґрунтовує границі гідрогеологічних регіонів, 3 – точка перетину гідрогеологічного розрізу з границею регіону



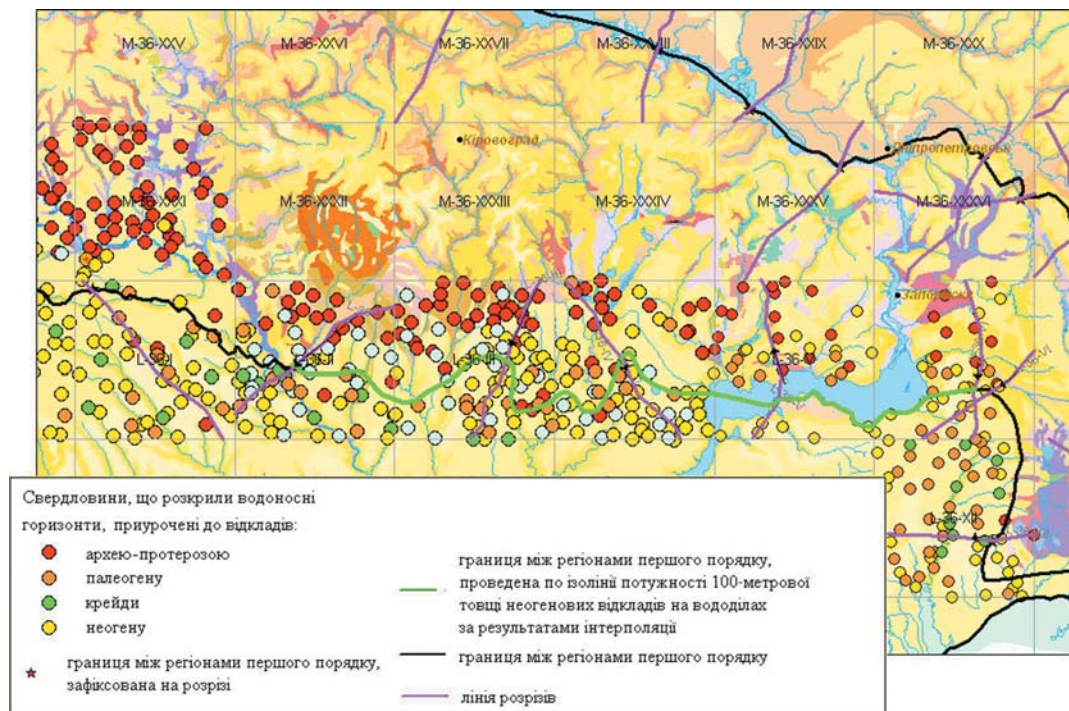


Рис. 4. Границя між Причорноморською ВС та ВС Українського щита, яку проведено з огляду на обводненість кристалічних порід, підтверджену результативними гідрогеологічними свердловинами

зонтами і комплексами осадових відкладів, що залягають вище та відповідно умови живлення. Специфіка кори вивітрювання зумовлює її подвійну гідрогеологічну роль. У певних умовах залежно від літологічної будови вона є або водоносним горизонтом, або водотривом. Регіональні закономірності свідчать, що повний розріз і більша потужність кори вивітрювання спостерігаються на вододільних ділянках. До прируслових частин її потужність зменшується, подекуди до повного розмивання.

Водоносні горизонти верхнього структурного поверху в осадових відкладах, що вирізняються невитриманими поширеннями і потужністю, найчастіше приурочені до вододільних ділянок і розмиті в долинах річок. За відсутності витриманих у розрізі слабопроникних відкладів між водоносними горизонтами є гідравлічний зв'язок. Водовмісні породи представлені переважно пісками, меншою мірою, вапняками, мергельно-крейдовими відкладами, пісковиками з доволі низькими фільтраційними властивостями. Порів'язок і поровотріщинні води приурочені тут до порівняно малопотужних осадових порід мезо-кайнозоя, які плащоподібно залягають на еродованій поверхні кристалічного фундаменту. Ці води переважно безнапірні і слабонапірні. У межах окремих тектонічних западин у рельєфі, а також у деяких крайових частинах з осадовими товщами пов'язане утворення своєрідних артезіанських гідрогеологічних структур. Зокрема, йдеться про Кінсько-Ялинську западину, що має всі ознаки артезіанського басейну, який можна під час деталізації районування зарахувати до гідрогеологічних структур другого порядку.

Попри досить низькі фільтраційні характеристики водоносних горизонтів водоносної системи Українського щита підземні води тут досить широко використовують для водопостачання порівняно великих водоспоживачів – міст Бердичів, Умань, Хмельник, Тальне та ін.

**6. Дніпровсько-Донецька водоносна система**

Дніпровсько-Донецька ВС приурочена до Дніпровсько-Донецької западини. На північному заході і північному сході вона межує з Прип'ятською западиною та Воронежським ма-

сивом відповідно. До того ж зазначені границі розміщуються переважно за межами нашої країни. Положення її північно-західної, південно-західної межі з ВС Українського щита описане вище. Лінія розмежування з Донецькою ВС проведена по лінії Криворізько-Павлівського скиду (див. рис. 3), далі – по контакту платформних і моласових утворень триасу в межах дрібних купольних структур Донбасу. Північніше Лозовеньківського купола ця границя повертає на схід, і до кордону з Росією проводиться по контакту водоносного горизонту в мергельно-крейдовій товщі верхньої крейди з водоносними горизонтами ВС Донбасу, приуроченими до давніших, переважно карбонівих порід.

Ця ВС є класичним артезіанським басейном. Вона характеризується витриманим поширенням на великих територіях водомістких і водотривких відкладів, приуроченістю їх до різновікових утворень, що визначає багат шаровий характер залягання водоносних горизонтів. Підземні води містяться здебільшого в порових колекторах, які вирізняються однорідними фільтраційними властивостями.

Природні ресурси питних підземних вод Дніпровсько-Донецької ВС формуються переважно в комплексі олігоцен-четвертинних, еоценових, турон-сенонських, сеноман-нижньокрейдових, юрських і триасових відкладів.

Глибина зони активного і значного водообміну становить 800–1 000 м. Суттєвий вплив на формування якісного складу підземних вод має соляна тектоніка, в окремих місцях глибини прісних підземних вод не перевищують перших десятків метрів.

У східній частині ВС спостерігається інтенсивне дренивання водомістких відкладів гідрографічною мережею, де в долинах річок водомісні верхньокрейдові відклади скрізь виходять на земну поверхню або під обводнені алювіальні утворення.

Водоносний комплекс олігоцен-четвертинних відкладів поширений майже скрізь. Він приурочений до піщано-глинистих порід олігоцену в центральній частині ВС, а також до піщаних алювіально-флювіогляціальних елювіально-делювіальних четвертинних відкладів. Найсприятливіші умови

живлення й розвантаження вод комплексу пов'язані з північною та придніпровською частинами ВС, де простежується підвищення для території кількість атмосферних опадів, а цей комплекс має невелику потужність і сприятливий склад порід зони аерації.

Водоносний горизонт еоценових відкладів, за винятком північно-східної частини ВС, поширений майже повсюдно. На великій частині території він перекритий слабопроникною товщею київських мергелів.

Водоносний горизонт зони інтенсивної тріщинуватості мергельно-крейдових порід сенон-турону поширений у північно-східній частині ВС, де товща цих відкладів залягає безпосередньо під четвертинними або на окремих ділянках під палеоген-неогеновими утвореннями. Місцева річкова мережа повністю контролює напрямку руху підземного потоку в горизонті. Основний водообмін відбувається на схилах і в долинах річок, де умови живлення, циркуляції та розвантаження підземних вод у вигляді річкового стоку, випаровування та транспірації, а також безпосередньо у річкову мережу є оптимальними.

Водоносний горизонт сеноман-нижньокрейдівих відкладів поширений майже на всій території ВС за винятком її південно-західної та південно-східної частин. Глибина залягання горизонту збільшується до центральної частини западини від 20–40 до 900 м. До цього додамо, що в центральній частині западини потужність перекривальних слабопроникних мергельно-крейдових утворень сягає декількох сотень метрів. Це набагато ускладнює живлення зазначеного горизонту завдяки перетіканню зверху, що набагато активніше проявляється лише в зонах соляно-купольної тектоніки, і, на жаль, часто супроводжується погіршенням якості питних вод через розчинені інфільтраційними водами кам'яні солі цих куполів. Зазначений водоносний горизонт використовують для централізованого водопостачання міст – Харків, Полтава, Суми та ін. населених пунктів.

Водоносний комплекс у сеноман-келовейських відкладах поширений у північно-західній частині Дніпровсько-Донецької водоносної системи. Поширення цього комплексу у південно-східному напрямку обмежується Остер-Золотоніським валом. Зазначений комплекс широко використовують для централізованого водопостачання, зокрема м. Києва.

У північно-західній частині ВС у розрізі з'являються байоські водоносні відклади, які містять підземні води питної якості. Водозбагаченість цього водоносного горизонту забезпечила його широке використання для потреб водопостачання. Зокрема, він є основним горизонтом, який використовують для водопостачання м. Києва.

Узагалі всі водоносні горизонти Дніпровсько-Донецької ВС зони активного водообміну тією чи іншою мірою беруть участь у забезпеченні централізованого водопостачання населених пунктів і промислових підприємств питною водою.

### 7. Донбаська водоносна система

Донбаська ВС розміщена на південному сході України. На півночі, північному заході та північному сході вона межує з Дніпровсько-Донецькою ВС, на південному заході – з ВС Українського щита.

Границі Донбаської ВС із Дніпровсько-Донецькою ВС та ВС Українського щита наведені вище (див. рис. 3). На південному сході ця структура виходить за межі України.

У структурному плані Донбаська ВС приурочена до Донецької складчастої споруди (Донбасу) з герцинською (палеозойською) основою, що являє собою синклінорій.

Природні ресурси питних підземних вод на Донбасі пов'язані здебільшого з крейдовими, тріасовими, кам'яновугільними відкладами. Загалом Донбас – це складна система синклінальних і антиклінальних структур, природні умови формування ресурсів підземних вод в яких є складними, а до того ж ці умови ускладнені техногенним втручанням. Усе це створює своєрідну картину живлення й розвантаження ресурсів водоносних горизонтів, яка часто визначається впливом дренажної системи того чи іншого гірничодобувного підприємства.

І все ж зазначимо, що місцеві ресурси підземних вод не можуть забезпечити потреби такого розвинутого в промисловому сенсі регіону, тому проблема водопостачання Донбасу питними прісними водами розв'язується внаслідок використання поверхневих вод, які подають на Донбас навіть з інших регіонів, зокрема каналом Дніпро-Донбас.

У центральній частині водоносної системи до зони інтенсивного водообміну належать води питної якості, що приурочені до складнодислокованих порід карбону та тріасу. На периферії їхня якість погіршується, оскільки на цих ділянках у зоні інтенсивного водообміну вже розміщуються водовмісні породи палеогену, неогену, які перекривають утворення карбону й тріасу.

### 8. Причорноморська водоносна система

Причорноморська ВС розміщується у південній частині України. На півночі та північному сході має спільну границю з ВС Українського щита, на південному заході – з Добрудзькою ВС. На заході вона виходить за межі території України, а на півдні обмежується акваторією Чорного й Азовського морів.

З позицій геологічної будови Причорноморська ВС досить складна. Під час виділення зазначеної водоносної системи ми оперували тим чинником, що в період від верхньої крейди до антропогену в межах цього прогину відклалися карбонатно-теригенні та теригенно-глинисті формації. Зазначені формації аналогічні формаціям, що відклалися у цей самий період у межах західного сегмента Причорноморської моноклінали. У такий спосіб утворилося єдине поле похилих пластів карбонатно-теригенних і теригенно-глинистих порід, умови формування підземних вод в яких є аналогічними. Через це зону Переддобрудзького прогину з достатньою підставою можна зарахувати до Причорноморської ВС.

Гідрогеологічні умови Причорноморської ВС складні. Це пояснюється розмаїттям та невтриманістю поширення як водовмісних, так і водотривких відкладів, фаціальною та літологічною мінливістю складу порід, строкатістю якісного складу підземних вод. Потужність зони активного водообміну 50–400 м, здебільшого не перевищує 100–200 м. Підземні води містяться у четвертинних, неогенових, палеогенових, крейдових та докрейдових відкладах. Головними є водоносні горизонти в неогенових відкладах, на локальних ділянках – у палеогенових і крейдових відкладах.

Для підземних вод Причорноморської ВС характерна також мінливість мінералізації вод, що призводить до досить широкого розвитку солонуватих і солоних вод. На окремих ділянках мінералізовані води приурочені навіть до наймолодших відкладів, тоді як води горизонтів, що залягають нижче, вирізняються ліпшими показниками якості.

Зазначимо, що водоносні горизонти, приурочені до крейдових і палеогенових відкладів, вивчені недостатньо і поки що не знайшли широкого застосування. Найбільш вивчені і повсюдно використовувані води неогенових відкладів. Вели-

ку роль у водопостачанні сільських населених пунктів відіграють також прісні і солонуваті ґрунтові води четвертинних відкладів.

Окремі дослідники [12, 14, 15] в межах Рівнинного Криму виділяють самостійний артезіанський басейн, оскільки, на їхню думку, ця гідрогеологічна структура розміщується в межах Скіфської епіорогенної зони. Натомість Причорноморський артезіанський басейн приурочують до південної окраїни Східноєвропейської платформи, що не зовсім коректно. Адже осадовий чохол Причорномор'я – це в геологічному плані монокліналь з падінням на південь. А Рівнинний Крим – це також ускладнена монокліналь одновікових порід з нахилом на північ. Разом вони утворюють єдину структуру осадового чохла артезіанського типу з подібним складом порід мезо-кайнозую і подібними умовами формування підземних вод. З огляду на занурені Чорноморську й Азовську частини товщі осадових відкладів, це єдина мульдopodobна артезіанська структура, виповнена поверховою системою водоносних і роздільних шарів.

**9. Добрудзька водоносна система**

Розміщується в крайній південно-західній частині Одеської області в межах дельтової рівнини Дунаю поблизу кордону з Румунією. У структурному плані приурочена до Нижньопрутського виступу Північної Добруджі, фундамент якого утворений складнодислокованим доюрським метаморфічним комплексом порід у фації зелених сланців, що виходить на поверхню або перекритий малопотужною (до 200 м) товщею неогенових осадових відкладів, складених переважно глинистими утвореннями, та пліоцен-четвертинними дельтовими утвореннями Дунаю. Ця структура являє собою окраїну частину Північної Добруджі. Границя, що відділяє гідрогеологічну область від Причорноморського артезіанського басейну, проводиться по лінії Кагул-Георгіївського розлому (див. рис. 5).

Підземні води, які використовують для господарсько-питного водопостачання, приурочені до пліоцен-четвертинних алювіальних, лиманно-морських і морських утворень, розвинених у дельті Дунаю і складених переважно піщаною товщею порід потужністю від декількох до 120 м.

**10. Водоносна система Гірського Криму**

ВС Гірського Криму в геоструктурному плані приурочена до Головного пасма складчастої альпійської геосинклінальної області та до її Керченського занурення.

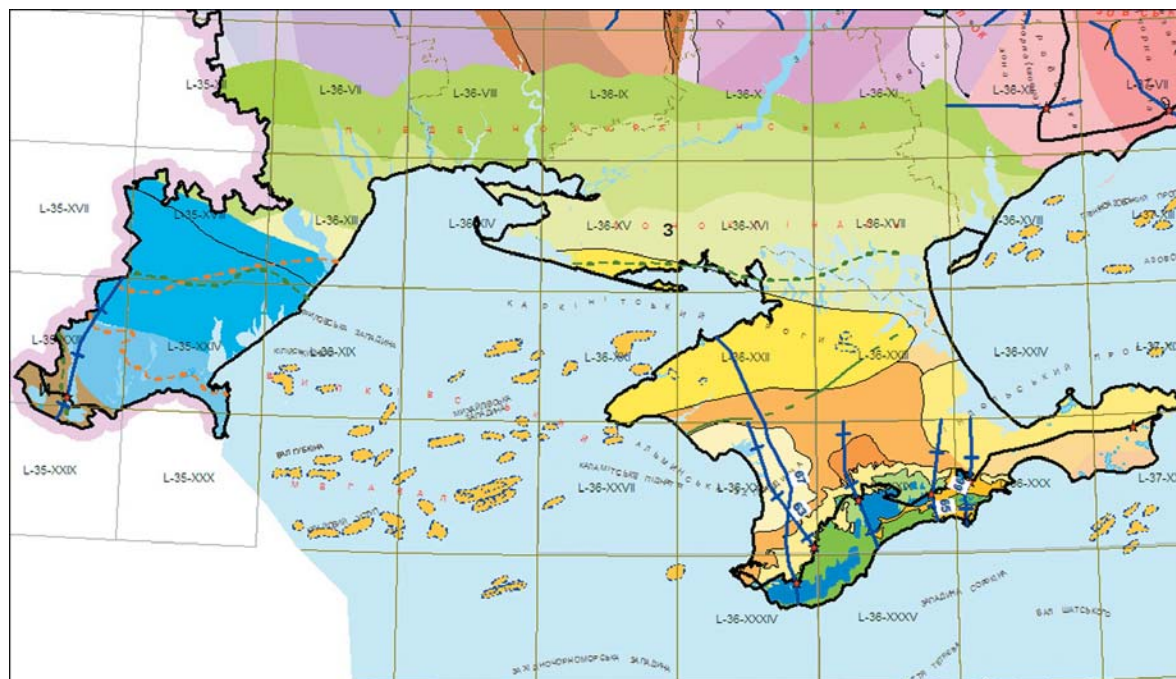
Північна границя ВС Гірського Криму, яка відокремлює її від Рівнинно-Кримської ВС, проходить по контакту крейдяних і юрських відкладів (див. рис. 5) і далі від сс. Кринички та Першотравневе до Керченського півострова по лінії тектонічного насуву, що відділяє Владиславівський і Краснопільський тектонічні покриви Керченського занурення Гірського Криму від Індольського крайового прогину.

З гідрогеологічних позицій ця область характеризується поширенням здебільшого карстово-тріщинних вод верхньоярських покладів і частково порово-пластових вод четвертинних відкладів. Якість цих вод переважно задовольняє вимоги питного водопостачання, але їхні ресурси досить обмежені.

У зоні Керченського занурення Гірського Криму розвинена потужна майже безводна глиниста товща, що містить незначні прошарки високомінералізованих вод. У крайній східній частині підземні води пов'язані з відкладами неогену, водозбагаченість яких незначна, до того ж їхня якість часто не відповідає ДСанПІН 2.2.4-141-10.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. *Бабінець А. Е.* Гидрогеологические районы территории Украинской ССР//Тр. Первого Украинского гидрогеологического совещания. – Киев: Издательство АН УССР, 1961. – Т. 1. – С. 26–35.
2. *Васильевский М. М.* Схема основного гидрогеологического районирования европейской части СССР//Сов. геология. – 1938. – № 8. – С. 9–18.
3. *Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в естественных условиях/В. М. Шестопалов, В. И. Лялько, Н. С. Огняник и др.; Отв. Ред. В. М. Шестопалов; АН УССР. Ин-т геологических наук. – Киев: Наукова думка, 1989. – 228 с.*
4. *Гидрогеология СССР. Том V. Украинская ССР/Редактор Ф. А. Руденко. – М.: Недра, 1971. – 614 с.*
5. *Гидрогеология СССР: Свод. том в 5-ти вып. с атласом карт. – М.: Недра, 1976. – Вып. 1. – 656 с.*
6. *Давыдова В. С., Белокопытова Н. А. (отв. исполнитель), Соболевский Э. Э., Клыков А. Г., Великанова С. И. Методические рекомендации по подготовке карт водных объектов в системе го-*



**Рис. 5. Границі Причорноморської, Добрудзької ВС та ВС Гірського Криму**

сударственного водного кадастра УССР. Часть I – Гидрогеологическое районирование. – Днепропетровск: ДО ИМР, 1984.

7. *Зайцев И. К.* Принципы гидрогеологического районирования и типизация гидрогеологических структур//Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. – 1974. – № 229. – С. 5–9.

8. *Каменский Г. Н.* Принципы гидрогеологического районирования СССР//Тр. ВСЕГИНГЕО. Вопросы изучения подземных вод и инженерно-геологических процессов. – М., 1955. – С. 3–13.

9. *Лучицкий В. Л., Личков Б. Л.* Гидрогеологичні райони України: Пояснюв. зап. та інструкція до користування картою гідрогеол. р-нів України в 25-верстовому мірілі. – К.: Держгеолвидав, 1930. – 62 с.

10. *Маков К. И.* Подземные воды Украинской ССР. – Киев: Изд-во АН УССР, 1947. – 621 с.

11. *Овчинников А. М.* Водонапорные системы земной коры//Изв. вузов. Сер. геология и разведка. – 1961. – № 8. – С. 85–91.

12. Оценка перспектив расширения использования ресурсов питьевых подземных вод в народном хозяйстве УССР. Отв. исполнитель Соболевский Э. Э. – Киев: ЦТЭ Мингео УРСР, 1988. – С. 32–70.

13. Перечень гидрогеологических районов для ведения Государственного водного кадастра. – М.: ВСЕГИНГЕО. Ротапринт, 1983.

14. Принципы гидрогеологической стратификации и районирования территории России (Методическое письмо). – М.: Министерство природных ресурсов РФ, 1998. – 21 с.

15. “Тектонічна карта України”, масштаб 1:1 000 000/гол. редактори С. С. Круглов, Д. С. Гурський. – К., 2007.

16. Формирование эксплуатационных ресурсов подземных вод платформенных структур Украины/А. Е. Бабинец, Б. В. Боровский, В. М. Шестопалов и др. – Киев: Наукова думка, 1979. – 216 с.

17. *Шестопалов В. М., Блінов П. В., Лютій Г. Г., Саніна І. В., Руденко Ю. Ф.* Сучасні принципи гідрогеологічного районування//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2010. – № 3–4. – С. 147–157.

18. *Шинкаревський М. А., Рубан С. А.* Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. – Київ: ДВ УкрДГРІ, 2005. – 571 с.

#### REFERENCES

1. *Babinec A. E.* Hydrogeological regions of the territory of the Ukrainian SSR//Tr. Pervogo Ukrainiskogo gidrogeologicheskogo soveshchaniya. – Kiev: Izdatelstvo AN USSR, 1961. – Vol. 1. – P. 26–35. (In Russian).

2. *Vasilevskij M. M.* The scheme of the main hydrogeological zoning of the European part of the USSR//Sov. geologiya. – 1938. – № 8. – P. 9–18. (In Russian).

3. Water exchange in the hydrogeological structures of Ukraine: Water exchange in natural conditions/V. M. Shestopalov, V. I. Lyalko, N. S. Ognyanik et al.; Отв. Red. V. M. Shestopalov; AN USSR. In-t geologicheskikh nauk. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 228 p. (In Russian).

4. Hydrogeology of the USSR. Volume V. Ukrainian SSR/Editor F. A. Rudenko. – Moskva: Nedra, 1971. – 614 p. (In Russian).

5. Hydrogeology of the USSR: Cumulated volume in five issues featuring chart atlas. – Moskva: Nedra, 1976. – Iss. 1. – 656 p. (In Russian).

6. *Davydova V. S., Belokopytova N. A.* (principal investigator), *Sobolevskij Je. Je., Klykov A. G., Velikanova S. I.* Guidelines for Guidelines for mapping of water bodies in the system of state water cadastre of the Ukrainian SSR. Part I. – Hydrogeological zoning. – Dnepropetrovsk: DO IMR, 1984. (In Russian).

7. *Zajcev I. K.* Principles of hydrogeological zoning and typification of hydrogeological structures//Tr. VSEGEI. Nov. ser. – 1974. – № 229. – P. 5–9. (In Russian).

8. *Kamenskij G. N.* Principles of hydrogeological zoning of the USSR//Tr. VSEGINGEO. Voprosy izucheniya podzemnyh vod i inzhenerno-geologicheskikh processov. – Moskva, 1955. – P. 3–13. (In Russian).

9. *Luchitskiy V. L., Lichkov B. L.* Hydrogeological regions of Ukraine: Regulatory approval package and instruction in hidrogeological zoning 25-verst map of Ukraine. – Kyiv: Derzhheolvydav, 1930. – 62 p. (In Ukrainian).

10. *Makov K. I.* Groundwaters of the Ukrainian SSR. – Kiev: Izd-vo AN USSR, 1947. – 621 p. (In Russian).

11. *Ovchinnikov A. M.* Earth crust confined water systems//Izd. vuzov. Ser. geologiya i razvedka. – 1961. – № 8. – P. 85–91. (In Russian).

12. Assessment of the prospects for expanding the use of groundwater resources in the national economy of the Ukrainian SSR. Principal investigator Sobolevskij Je. Je. – Kiev: CTJe Mingeo URSR, 1988. – P. 32–70. (In Russian).

13. List of hydrogeological regions for maintaining the State Water Cadastre. – Moskva: VSEGINGEO. Rotaprint, 1983. (In Russian).

14. Principles of hydrogeological stratification and zoning of the territory of Russia (Methodological letter). – Moskva: Ministerstvo prirodnih resursov RF, 1998. – 21 p. (In Russian).

15. “Tectonic map of Ukraine”, scale 1:1 000 000/Head editors S. S. Kruhlov, D. S. Hurskyi. – Kyiv, 2007. (In Ukrainian).

16. Formation of operational resources of groundwater platform structures of Ukraine A. E. Babinec, B. V. Borevskij, V. M. Shestopalov et al. – Kiev: Naukova dumka, 1979. – 216 p. (In Russian).

17. *Shestopalov V. M., Blinov P. V., Lyutyi H. H., Sanina I. V., Rudenko Yu. F.* Modern principles of hydrogeological zoning//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2010. – № 3–4. – P. 147–157. (In Ukrainian).

18. *Shynkarevskiy M. A., Ruban S. A.* Hydrogeological estimates and forecasts of the groundwater regime of Ukraine. – Kyiv: DV UkrDHRI, 2005. – 571 p. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 27.03.2019.

**УКРПОШТА**  
ГОЛОВНА ПОШТА КРАЇНИ

# КАТАЛОГ ВИДАНЬ УКРАЇНИ

ПРЕСА ПОШТОЮ

**Шановні читачі!**  
Державне підприємство з розповсюдження періодичних видань «Преса» повідомляє, що триває передплата на періодичні видання України на 2019 рік.

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

- на сайті ДП «Преса» [www.presa.ua](http://www.presa.ua);
- на сайті ПАТ «Укрпошта» [www.ukrposhta.ua](http://www.ukrposhta.ua);
- у відділеннях поштового зв'язку;
- в операційних залах поштамтів;
- у пунктах приймання передплати.

2019 РІК

УДК 551.311.231:553.08

 <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.13-20>

**М. М. ЗІНЧУК**, д-р геол.-мінерал. наук, професор, академік АН РС (Я), голова Західноякутського наукового центру АН РС (Я), м. Мирний, nnzinchuk@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

**M. ZINCHUK**, West-Yakutian Scientific Centre of the Sakha Republic (Yakutia) Academy of Sciences, nnzinchuk@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

## ОСОБЛИВОСТІ ГЛИНИСТИХ МІНЕРАЛІВ У ДАВНІХ КОРАХ ВИВІТРЮВАННЯ РІЗНИХ ПОРІД В АЛМАЗОНОСНИХ РЕГІОНАХ

## ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В ДРЕВНИХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД В АЛМАЗОНОСНЫХ РЕГИОНАХ

## SPECIFIC FEATURES OF CLAY MINERALS IN ANCIENT CRUSTS OF WEATHERING OF VARIOUS ROCKS IN DIAMONDFEROUS REGIONS

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Результати комплексного дослідження різновікових давніх кір вивітрювання (КВ) на різних породах основних алмазоносних районів Сибірської платформи засвідчили, що багатоконпонентний склад початкових утворень зумовив сповільнене перетворення первинного матеріалу. Типоморфними ознаками глинистих утворень у вивчених КВ є: а) повсюдна наявність диоктаєдричної гідрослюди (2М1) в елювії теригенно-карбонатних порід і її асоціація з каолінітом; б) наявність у розрізах КВ порід трапової формації (туфи, туфогенні породи, долерити) поряд з ди- і триоктаєдричним монтморилонітом, вермикуліт-монтморилонітовим змішаношаровим утворенням невпорядкованого каолініту, що асоціюється у КВ туфогенних порід з галуазитом; в) уміст у КВ кімберлітів спільно з полікатіонним монтморилонітом чималої кількості триоктаєдричного хлориту (пакети  $\delta$  і  $\delta'$ ), серпентину (структурні типи А і В), різною мірою зміненого флогопіту і пов'язаної з ним гідрослюди 1М.

**Ключові слова:** глинисті мінерали, кори вивітрювання, теригенно-карбонатні породи, туфогенні утворення, долерити, кімберліти.

Results of complex research of different age ancient weathering crusts in various rocks (terrigenous-carbonate rocks of Lower Paleozoic, dolerites, tuffs and tufogene formations, kimberlites) within the main diamondiferous regions of the Siberian platform indicated that complicated multicomponent composition of initial formations (with the exception of terrigenous-carbonate rocks), containing di- and trioctahedral minerals, the structure of which has tri- and bivalent rock-forming elements, stipulated decelerated transformation of the initial material. Development of incomplete weathering profiles is first of all caused by weak ejection of bivalent cations from primary minerals. That is why newly emerging phases will be dioctahedral and often preserve mixed composition of cations. The most important typomorphic indications of clay formations in the studied weathering crusts are as follows: a) omnipresent dioctahedral hydromica (2M1) in the weathering crust of terrigenous-carbonate rocks and its association in the most mature profiles with kaolinite of relatively ordered structure, than of kaolinite, having been formed at the expense of other rocks; b) constant availability of trapean formation (tuffs, tufogene rocks, dolerites) in sections of crusts of weathering together with di- and trioctahedral montmorillonite, as well as disordered vermiculite-montmorillonite mixed-layered formation, to this or that degree disordered kaolinite, associated in the weathering crust of tufogene rocks with halloysite (at complete absence of micaceous minerals in the products of weathering); c) the content in the crust of weathering of kimberlites together with polycationic montmorillonite of a significant quantity of trioctahedral chlorite (packets  $\delta$  and  $\delta'$ ), serpentine (structural types A and B) and altered to various degree phlogopite, including related with it hydromica 1M.

**Keywords:** clay minerals, crusts of weathering, terrigenous-carbonate rocks, tufogene formations, dolerites, kimberlites.

Кори вивітрювання (КВ) виникають при благоприятних соотношениях следующих основных факторов [9–13]: интенсивности преобразования, глубины возможного корообразования и скорости размыва. Интенсивность вивітрювання резко возрастает с увеличением температуры и количества выпадающих осадков. Большое значение имеет также обилие гумусового вещества, обладающего кислотными свойствами. Мощность КВ сильно зависит от глубин залегания грунтовых вод. Наиболее интенсивная денудация элювиальных продуктов происходит вдоль эрозионной сети, тогда как на плоских водоразделах, наоборот, наблюдается минимальный размыв при наиболее интенсивном дренаже [3–10]. На таких водоразделах обычно и формируется мощная КВ, которая сохраняется от размыва только при стечении благоприятных факторов

в понижениях древнего рельефа денудационной поверхности и в тектонически опущенных блоках. На пенепплене или первичной аккумулятивной равнине дренаж был слаб, отчего здесь обычно не образуются мощные КВ.

На древних платформах мира (Сибирской, Африканской, Восточно-Европейской, Китайской и др.) остаточные КВ на различных породах имеют широкое распространение. Наиболее детально они изучены нами и другими исследователями на Сибирской платформе (СП), где благоприятные условия для формирования КВ существовали в позднедевонское-раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время [1, 2, 6, 12–15]. На рассматриваемой территории в конце девона произошло сокращение морского бассейна. На северо-западе и северо-востоке Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС) сформировались прибрежные низменные равнины, а на юге ТВС и Вилюйской мезозойской синеклизы (ВМС)

возникли равнины с континентальным осадконакоплением. Они разделялись более высокими денудационными плато. Каменноугольному периоду активизации общего воздымания СП предшествовала эпоха относительного покоя, в течение которой дифференцированных тектонических движений практически не происходило. Рельеф суши в рассматриваемое время был сильно пенепленизирован. При этом выравнивание рельефа и образование элювия на исходных породах протекали постепенно на протяжении всего периода формирования поверхности выветривания, при котором продукты выветривания поступали в коррелятивные толщ равномерно, что связано с весьма незначительными в это время изменениями тектонического режима и палеорельефа [1, 5]. Так, отложения нижнего карбона ТВС отражают погребённую поверхность выравнивания на границе девона и карбона и по всему разрезу обогащены продуктами выветривания [9]. На территории ТВС в карбоне и перми широкое развитие получили низменные заболоченные равнины с угленосными отложениями. Для позднедевонско-раннекаменноугольной эпохи характерно весьма активное развитие процессов корообразования, протекавших в условиях теплого и влажного климата. В конце пермского периода во многих районах СП началось излияние лав и внедрение траппов, особенно сильно проявившиеся к началу раннего триаса. К концу этого периода длительная эпоха денудации рельефа завершилась пенепленизацией СП, которая в среднем и позднем триасе обусловлена эпохой относительного тектонического покоя, предшествовавшей юрской активизации платформы. В раннем и среднем триасе климат был субтропический с элементами аридного с неравномерным распределением осадков по сезонам, а в позднем триасе – ранней юре – с возросшим количеством атмосферных осадков. Всё это способствовало формированию мощной, преимущественно каолиновой КВ [6]. При этом корообразование, денудация и переотложение продуктов этой КВ в коррелятивные толщ рассматриваемого региона происходили относительно равномерно, что было обусловлено, как и в позднем девоне – раннем карбоне, слабыми изменениями палеорельефа и тектонического режима.

В пределах основных алмазоносных районов СП древние КВ развиты на различных породах: терригенно-карбонатных нижнего палеозоя, долеритах, туфах и туфобрекчиях трубчатых тел, туфогенных образованиях корвунчанской свиты и кимберлитах. В структурном плане древние КВ приурочены преимущественно к конседиментационным палеоподнятиям, в пределах которых в период формирования перекрывающих их отложений развивались обстановки денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин [7–10]. В конседиментационных палеовпадинах, служивших местами аккумуляции переотложенного материала КВ, наоборот, были неблагоприятные условия для интенсивного корообразования. Возможно, здесь протекали только начальные стадии дезинтеграции пород субстрата. Так, в позднедевонское-раннекаменноугольное время в Малоботуобинском алмазоносном районе (МБАР) относительно наиболее полные и мощные (до 15 м) площадные остаточные КВ на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя развивались (а затем и сохранились от размыва) на Улу-Тогинском, Мирнинском, Джункунском и Чернышевском палеоподнятиях, обрамляющих Кюеляхскую, Улахан-Ботуобинскую и Ахтарандинскую впадины. В отдельных разрезах устанавливаются верхние горизонты КВ, свидетельствующие о формировании полных профилей. Состав этих горизонтов позволяет предполагать,

что корообразование происходило в теплом влажном климате при относительно хорошем дренаже. На поднятиях и их склонах наблюдаются более мелкие формы рельефа, на которых менее контрастно проявляется общая закономерность приуроченности наиболее мощных КВ к поднятиям.

Похожие палеогеоморфологические особенности развития и распределения характерны и для средне-позднетриасовых КВ, когда в пределах этого же МБАР в мезозойское время структуры формировались в двух различных структурно-формационных зонах, резко отличающихся условиями развития и сохранения элювиальных толщ [4–8]. Одна из них охватывает всю северо-западную половину территории района и в структурном отношении совпадает с северо-западным бортом Ангаро-Виллюйского наложенного мезозойского прогиба (АВНМП), являющегося на протяжении длительного времени (норий-ранний лейас) денудационной и только в плинсбахе – денудационно-аккумулятивной поверхностью. Здесь ко времени корообразования были развиты верхнепалеозойские вулканогенно-терригенные отложения, а также породы трапповой формации (долериты и туфы) нижнего триаса. Только в полосе шириной примерно до 30 км (редко больше по депрессиям и древним водотокам, размывавшим трапповое плато) вдоль бровки северо-западного борта этого же прогиба в то время обнажались терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя. Здесь в средне-позднетриасовое время, судя по сохранившимся разрезам полного профиля латеритоподобной КВ, существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования. Такие профили изучены нами на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя мощностью до 15 м (правобережье нижнего течения р. Малой Ботуобии), на траппах нижнего триаса мощностью до 43,5 м (Хатат-Юлегириское междуречье), на кимберлитах мощностью до 15 м (трубка имени XXIII съезда КПСС). Вторая – юго-восточная зона района, совпадающая с центральной частью АВНМП, была неблагоприятной для интенсивного корообразования. Здесь в среднем и позднем триасе обнажались терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя. В процессе корообразования разрушенный материал пород субстрата сносился в пониженные участки центральной части прогиба. Синхронность этих процессов подчеркивается отсутствием КВ под глинистыми осадками иреляхской свиты (до 60 м), сохранившимся от размыва в мелких депрессиях. Возможно, что на больших поднятиях в прогибе КВ могла достигать значительной мощности.

В позднем девоне – раннем карбоне на большей части территории Непско-Ботуобинской и Анабарской антеклиз и их склонов, а также почти на всей площади МБАР и Далдыно-Алакитского алмазоносного района (ДААР) подвергались выветриванию *терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя*. Из-за значительно большего эрозионного среза пород в допозднепалеозойское время, чем в дораннеюрское, сохранность средне-позднетриасовых КВ оказалась здесь относительно лучшей, чем позднедевонских-раннекаменноугольных. Эти КВ вместе с перекрывающими их отложениями фиксируют поверхности последних циклов денудации описываемых двух глобальных и продолжительных эпох корообразования. Обычно выветриванию на этой территории подверглись плотные серые, светло-серые иногда грязно-серые карбонатные песчанистые алевролиты и известково-доломитовые песчаники, а также отдельные прослой карбонатизированных глин. Нижние части зоны дезинтеграции в таких профилях представлены раздробленными многочисленными трещинами и микротрещинами желтыми

и желтовато-серыми известково-доломитовыми песчаниками и алевролитами. Структурно-текстурные особенности материнских пород здесь обычно сохраняются полностью. Во фракции мельче 0,001 мм породы содержат слабодеградированную гидрослюда политипной модификации  $2M_1$  с полубеспорядоченной структурой, а также триоктаэдрическое хлорит-монтмориллонитовое (ХМСО) и диоктаэдрическое монтмориллонит-гидрослюдистое смешанослойное образование (МГСО). При этом в низах разрезов в существенном количестве присутствует гидрослюда  $1M$ . Для обеих смешанослойных фаз нередко характерно упорядоченное чередование пакетов, унаследованное от исходных пород нижнего палеозоя [6]. В средних частях таких профилей наблюдаются значительные участки (трещины и пустоты выщелачивания первичных карбонатов и триоктаэдрических минералов), заполненные преимущественно прозрачными серовато-желтыми шестоватыми кристаллами гипса, а иногда и алюминита, алуниита и кальцита. Триоктаэдрические слоистые силикаты в этих частях разреза существенно уменьшаются, отчего в глинистой составляющей присутствует главным образом гидрослюда  $2M_1$  и МГСО также с тенденцией к упорядоченному чередованию пакетов. В темно-коричневых до желтовато-серых глинах верхних частей профилей выветривания этих пород также преобладает МГСО с более высоким содержанием разбухающих пакетов, унаследовавшее от аналогичной фазы из нижележащих отложений упорядоченное чередование слоёв на основе сочетаний  $AB^3$  и  $AB^5$  [6]. Присутствует здесь и примесь гидрослюды  $2M_1$ , характеризующаяся полностью беспорядочной структурой.

В профилях с более глубоким гипергенным преобразованием пород уже в верхних горизонтах зоны дезинтеграции доминируют глинистые образования, а также линзы, желваки и прожилки белых и серовато-белых вторичных образований, состоящих из алуниита, алюминита, базальюминита, гипса и кальцита. Нижние части таких профилей представлены мелкозернистыми плохо отсортированными известковистыми алевролитами, иногда с прожилками песчаников. В связи с более интенсивным выветриванием пород в этом типе профилей рефлексы глинистых минералов на дифрактограммах характеризуются большей диффузностью.  $FeO$  и  $Fe_2O_3$  в таких породах, судя по совпадению зон выделения Si, Al, K и Fe на картинах сканирования в характеристических рентгеновских лучах, входят в основном в состав силикатных минералов ( $Fe^{2+}$  в структуру хлорита, а  $Fe^{3+}$  – трехэтажных слоев диоктаэдрического типа). Анализ кривых инфракрасной спектроскопии (ИКС) исходных и прокаленных до  $600^\circ C$  образцов из нижних частей рассматриваемого типа КВ показал, что  $Fe^{3+}$  в структуре содержащихся здесь триоктаэдрических минералов находится в октаэдрических позициях. В породах около трещин и выщелоченных пустот встречаются участки выделений более короткостолбчатого, чем в низах профилей, желтовато-серого минерала, диагностируемого как ярозит. Глинистые минералы здесь представлены гидрослюдой  $2M_1$  и МГСО, в структуре которой к верхам этой зоны увеличивается содержание разбухающих пакетов. Хлорит, широко развитый в нижних частях профилей КВ допозднепалеозойского возраста, по данным растровой электронной микроскопии, представлен относительно крупными частицами. Гидрослюда  $2M_1$  сложена псевдоизометричными микроблоками (иногда довольно крупными), отличающимися от частиц хлорита жесткостью и большей толщиной по оси  $c$ . МГСО  $1M$  локализуется в виде микроагрегатов, состоящих из более мелких ча-

стиц, близких по форме к собственно гидрослуде [8]. Меньшая стабильность смешанослойной фазы определяет последовательное увеличение вверх по разрезу роли Al в октаэдрических позициях её структуры, на что указывает сохранение на ИК-спектрах полосы поглощения деформационных колебаний Si-O-Al<sup>VI</sup>-связи с частотой  $525\text{--}530\text{ см}^{-1}$  после прокаливания образцов при  $550\text{--}600^\circ C$  [5].

Наиболее детально средне-позднетриасовая кора выветривания на долеритах изучена нами в пределах юго-восточной окраины ТВС, т. е. в пределах МБАР и ДААР. Трапповое плато, занимающее северо-западную часть МБАР, и развитая на нём площадная остаточная КВ вместе с породами субстрата в послераннеюрское время подверглись интенсивной денудации. Поэтому КВ на долеритах здесь сохранилась от размыва только в понижениях плато или в тектонически опущенных блоках. Мощность КВ на долеритах составляет обычно первые метры, лишь в отдельных разрезах достигая 50 и более метров. Обычно от размыва сохраняется лишь нижняя часть КВ – зона дезинтеграции. Размеры останцов такой коры обычно небольшие (до  $1\text{ км}^2$ , редко больше). Форма их овальная, неправильная. Кроме площадных элювиальных образований этого типа, в северной части МБАР установлена линейная КВ долеритов (мощностью до 30 м), развитая вдоль зоны тектонических нарушений. Следует при этом отметить, что большинство сохранившихся полей этой КВ располагаются на пониженных участках современных водораздельных пространств траппового плато, имея выход на дневную поверхность, и в меньшей степени – в пределах склонов мезозойских депрессий, где указанные элювиальные толщи перекрыты нижнеюрскими отложениями.

Исходные, не подвергшиеся выветриванию, породы в северной части МБАР и в ДААР представлены разномасштабными серыми и темно-серыми долеритами, сложенными плагиоклазами (лабрадор-битовнит), моноклинными пироксенами (авгит), ильменитом, магнетитом, оливином, биотитом и стекловатым мезостазисом. Преобладают пойкилоофитовая и интерсерпентальная структуры, значительно реже офитовая и порфиоровая. Уже в нижних горизонтах зоны дезинтеграции наблюдается разложение плагиоклазов и фемических минералов и формирование по ним железисто-глинистых тонкодисперсных агрегатов. На этом этапе наблюдается существенное перераспределение Si, начальная стадия окисления  $Fe^{2+}$  и резкое усиление гидратации минералов, ведущее к скоплению в продуктах выветривания адсорбированной и конституционной воды. Вверх по разрезам увеличивается сеть различных макро-, мезо- и микротрещин, выполненных вторичными минералами (кальцитом, идингситом, гётитом и гематитом). Большинство реликтовых минералов долеритов здесь замещены глинистыми образованиями и гидроксидами железа. На дифрактограммах воздушно-сухого препарата фракции мельче 0,001 мм выветрелого долерита с указанных частей разрезов наблюдается асимметричный рефлекс со значением  $1,38\text{ нм}$ , свидетельствующий о многофазовом составе этих образований. После насыщения образцов глицерином на рентгенограммах отмечаются два интенсивных отражения. Первое – со значением  $1,41\text{ нм}$  по соотношению интенсивностей рефлексов и величине параметра  $b=0,920\text{ нм}$  относится к вермикулиту, а второе –  $1,77\text{ нм}$  соответствует разбухающему монтмориллониту ( $b=0,902\text{ нм}$ ), принадлежащему ди-триоктаэдрической разновидности. Образование в нижних горизонтах этой коры выветривания вермикулита связано преимущественно с изменением биотита [6]. Вследствие выщелачивания из биотита K и возникновения в

его структуре прослоев из молекул  $H_2O$ , координированных Mg, образуется вермикулит с близкими размерами элементарной ячейки в базисной плоскости. Вынос в дальнейшем части Mg из структуры вермикулита и окисление подавляющей массы  $Fe^{2+}$  ведёт к возникновению монтмориллонита, близкого к ди-триоктаэдрическому Mg- $Fe^{3+}$ . О преобладании  $Fe^{3+}$  свидетельствует исчезновение полосы поглощения деформационных колебаний Si-O-Al<sup>VI</sup>-связи с частотой 525–530  $cm^{-1}$  на кривых ИКС после прокаливания наименее изменённых образцов, особенно из нижней части профилей. По мере преобразования вермикулита в монтмориллонит последовательно уменьшается параметр  $b$  исходного минерала. При этом монтмориллонит в межслоевых промежутках содержит в основном Mg. Кроме того, в продуктах начального выветривания широко развит диоктаэдрический монтмориллонит ( $b=0,893$  нм), обогащённый Na в межслоевых промежутках. В виде мономинеральной ( $d=1,240$  нм) фазы он нередко заполняет трещины в породе. Что обусловлено интенсивным переходом в свободное состояние и частично полным выносом из системы содержащегося в плагиоклазах Ca. Под растровым электронным микроскопом видно, что Na-монтмориллонит представлен близкими к глобулярной форме микроагрегатами размером 30–40 мкм, состоящими из тонких листоватых частиц псевдоизометричного габитуса – ультрамикроблоков. По рентгеноспектральным исследованиям этот монтмориллонит содержит в структуре, наряду с Al, некоторое количество Mg и сравнительно мало Ca. Железа в нем также немного и распределено оно по площади сканирования относительно равномерно так, что не совпадает с зонами выделения других элементов, отчего концентрация его в структуре этого монтмориллонита не наблюдается. Кальций, освобождающийся в это время при частичном разложении плагиоклазов, образует  $CaCO_3$ . В целом дезинтеграция долеритов на ранних стадиях выветривания на довольно крупные элементы и развитие среди продуктов выветривания в основном гидрофильных минералов (вермикулита и монтмориллонита), как правило, затрудняет перераспределение щелочных земель и кремнезёма, вследствие чего образование каолинита в таких профилях протекает довольно медленно и начинается лишь при определённых концентрациях указанных элементов в элювии. Заметно препятствует его развитию и состав собственно монтмориллонита или вермикулит-монтмориллонитовые смешанослойные образования (VMCO). Эти минералы характеризуются существенным замещением Al<sup>VI</sup> на  $Fe^{3+}$  и Mg, что подчеркивается также возникновением примеси Ca-Fe-Mg-силикатов в процессе термической обработки фракции мельче 0,001 мм изменённых пород. Последовательность преобразования минералов в КВ долеритов показывает, что возникновение каолинита в значительной мере происходит через стадию наименее структурно упорядоченного VMCO после выноса из его структуры фемических элементов. Порядок изменения химического и минерального состава долеритов при выветривании указывает, что последний относится к щелочному типу.

*Кора выветривания на туфах и туфобрекчиях трубок взрыва* установлена в разных позднепалеозойских и мезозойских структурно-формационных зонах МБАР. Меньшая устойчивость туфов и туфобрекчий в процессах корообразования, по сравнению с вмещающими породами, позволяет наиболее рельефно проследить на них установленную закономерность более интенсивного развития (независимо от типов пород субстрата) и лучшей сохранности КВ в пределах денудационной поверхности выравнивания, территориально совпадающей с конседиментационными палеоподнятиями и их склонами,

по сравнению с денудационно-аккумулятивными и аккумулятивными поверхностями, соответствующими палеовпадинам. Так, туфогенные породы трубчатых тел А-48, А-50 и др. на Мирнинском полеоподнятии подверглись выветриванию на значительную глубину. Здесь под нижнеюрскими осадками и траппами вскрыта КВ значительной мощности (до 90 м). В таких разрезах установлены и более зрелые её горизонты. В центральных частях Кюеляхской верхнепалеозойской впадины и АВНМП на туфах и туфобрекчиях трубок взрыва (А-200, А-220, А-400 и др.) установлены только самые нижние горизонты (зоны дезинтеграции и начального выщелачивания) КВ мощностью в несколько метров. При этом следует отметить, что в пределах Мирнинского палеоподнятия, наряду с трубками взрыва, выветрельными на значительную глубину, встречены трубчатые тела (А-88, А-103 и др.) со слабовыраженным корообразованием. Такое положение можно объяснить [6] различной степенью переработки агломератовых туфов и туфобрекчий трубчатых тел гидротермально-метасоматическими процессами как в период их становления, так и в дальнейшем. При этом чем интенсивнее эти породы подверглись переработке, тем менее устойчивыми они становятся к выветриванию. Ярким примером в этом отношении является трубка А-49, по породам которой, сильно изменённым гидротермально-метасоматическими процессами, в позднедевонское-раннекаменноугольное время весьма интенсивно и на значительную глубину развивалось корообразование. Скважина глубиной около 100 м в центре трубки не вышла из изменённых пород. Перекрывается это тело долеритами и нижнеюрской осадочной толщей общей мощностью до 17 м. Поскольку изученный разрез туфов и туфобрекчий прерывается примерно 27-метровой толщей долеритов (глубины 107,8–134,4 м), то для понимания процессов выветривания и особенностей изменения вещественного состава его продуктов нами наиболее детально исследована верхняя (глубины 17,0–107,8 м) часть вскрытого скважиной разреза. Выветрелую часть этого интервала с некоторой долей условности можно разделить на две зоны, связанных постепенным переходом: верхнюю (17,1–48 м) и нижнюю (48,0–94,2 м). Для характеристики туфов и туфобрекчий нами изучены также породы, залегающие ниже указанного интервала и представленные плотными туфогенными образованиями.

Исходные (материнские) породы (глубина 94,2–107,8 м) в низах трубки представлены зелеными и грязно-зелеными сравнительно плотными туфами и туфобрекчиями (средняя плотность пород до 2,90 г/см<sup>3</sup>, пористость 13–25 %). Основная масса пород характеризуется в целом слабой раскristализованностью, реже она стекловатая. Сложены породы сравнительно плотным пирокластическим материалом с мелкими обломками иных пород, кварца, полевых шпатов, биотита и других минералов. Включения (размером до нескольких сантиметров) состоят из обломков терригенно-карбонатных пород, песчаников, алевролитов и траппов. В выветрелых породах данного разреза преобладают псефито-псаммитовые и кристалло-литовитрокластические структуры. Дифракционная картина фракции мельче 0,001 мм образцов из низов разреза и её изменение при различных обработках указывает, что в отличие от исходных долеритов в сравнительно плотных туфогенных образованиях присутствует в основном хлорит, который, судя по значению  $b=0,927$  нм, относится к Mg-Fe-типу. Некоторое сжатие кристаллической решетки при прокаливании свидетельствует об определённой “дефектности” его структуры. Наличие в слабоизменённых туфах и туфобрекчиях хлорита подчёр-



квивається як присутствием на кривих дифференциального термического анализа (ДТА) дериватограмм эндоэффектов при 550 и 740 °С, связанных, соответственно, с разрушением брусито- и талькоподобного слоев в структуре минерала, так и спектром ядерного гамма-резонанса (ЯГР), указывающим на преобладание в структуре  $Fe^{2+}$  ( $Fe^{2+}/Fe^{3+} \approx 2,5$ ). На кривых ИК-спектров в области валентных колебаний ОН-групп также отмечаются две слабые полосы поглощения с частотами около 3400 и 3600  $cm^{-1}$  (соответственно в брусито- и талькоподобных слоях). После насыщения образца глицерином появляется довольно интенсивный рефлекс 1,77 нм, указывающий также на наличие во фракции мельче 0,001 мм слабовыветрелых туфогенных образований Mg-Fe-монтмориллонита, который ассоциирует с реликтовой примесью вермикулита, характеризующегося, судя по значению  $d=0,1521$  нм, содержанием в октаэдрических сетках его структуры, наряду с Mg, значительного количества  $Fe^{3+}$ . Преобладание в низах рассматриваемого профиля этих минералов обуславливает близкий характер кривых ИКС как исходных образцов, так и после их термической обработки. Соответственно, высокое значение квадрупольного расщепления  $\Delta$  для части  $Fe^3$  (положение  $P_3$ ) указывает на сильное искажение его октаэдров ( $\Delta \geq 1$  мм/с). Это может быть связано с окислением  $Fe^{2+}$  при возникновении вермикулита и диоктаэдрического монтмориллонита. Образующиеся ионы  $Fe^{3+}$  концентрируются в триоктаэдрических участках новообразованных структур. Основной механизм компенсации возникающего в этом случае избыточного положительного заряда связан с появлением  $O^{2-}$  за счёт депротонизации ОН-групп, что и влияет на форму октаэдров, содержащих ионы  $Fe^{3+}$ . Ещё одна форма ионов  $Fe^{3+}$  (положение  $P_2$ ) также находится в октаэдрической координации, но в тех участках силикатных слоёв ди-триоктаэдрического монтмориллонита, где в ближайших по отношению к ним тетраэдрах ионы Si замещены на ионы Al, а избыточный (-) заряд компенсируется межслоевыми катионами. В этом случае фиксируются средние по величине значения  $\Delta \sim 0,6-0,8$  мм/с. Отмечается также аналогичное с материнскими породами распределение железа по структурным позициям [6], характеризующееся существенным увеличением роли его трехвалентной формы ( $Fe^{2+}/Fe^{3+} \approx 1,6$ ). В связи с относительным накоплением в этом случае монтмориллонита, значение  $\Delta$  (положение  $P_2$ ) несколько снижено, что может быть связано с примесью гидроксидов с более низкими значениями  $\Delta$  (порядка 0,50 мм/с), которые отдельно не выявляются вследствие недостаточного разрешения спектра между значениями 0,60 и 0,50 мм/с. Развитие в изменённых агломератовых туфах и туфобрекчиях (как и в КВ долеритов) триоктаэдрические и ди-триоктаэдрические минералы почти полностью (за исключением следов собственно диоктаэдрической фазы с  $d=1,23$  нм) растворяются в  $CH_3COOH$ . Частичное сохранение на дифрактограммах отражений, кратных 0,715 нм, а также присутствие в образце фазы со значением  $b=0,890$  нм указывает на небольшую примесь каолинита.

Вверх по разрезу зоны дезинтеграции наблюдается быстрое окисление и разложение хлорита, который уже на глубине 92,1 м фиксируется под растровым электронным микроскопом в виде локальных выделений в породе. Свидетельством его разрушения служит исчезновение, по данным ЯГР, ионов  $Fe^{2+}$  и формы  $Fe^{3+}$  с наиболее высоким  $\Delta$ . При этом ионы железа переходят в трехвалентное состояние (оксиды и гидроксиды). Образуется гематит, о чём свидетельствует появление в спектре ЯГР шести линий с параметрами  $H_{\text{эф}} \sim 503$  кэ,  $\Delta \sim 0,15$  мм/с,  $\delta \sim 0,17$  мм/с (от-

носительно Pd), что является результатом зеэмановского расщепления уровня ядер железа в  $\alpha-Fe_2O_3$  при действии эффективных магнитных полей [6]. Постепенно исчезают в этой зоне вермикулит и Mg- $Fe^{3+}$ -монтмориллонит, вместо которых (судя по появлению на дифрактограммах после насыщения образцов глицерином рефлексов 1,8–1,9 нм и, главным образом, по данным Фурье-преобразования), как и в наиболее выветрелых долеритах, возникает неупорядоченное ВМСО с  $d=0,149$  нм, что указывает на увеличение роли трехвалентных катионов (в том числе Al), в его структуре. Неупорядоченный характер этого смешанослойного образования определяется также почти полной аморфизацией его при прокаливании при 550–600 °С ибо собственно монтмориллонит или вермикулит дают [11] чёткую дифракционную картину с периодом 0,96–0,98 нм. Это образование полностью растворяется в 10 %-м растворе HCl и частично в тёплой 5 %  $CH_3COOH$ . Оно характеризуется исчезновением полосы поглощения Si-O-Al<sup>VI</sup>-связи с частотой 525–539  $cm^{-1}$  после прокаливании образцов при 600 °С, что свидетельствует о сохранении в его структуре элементов триоктаэдричности. Из трехвалентных катионов в октаэдрических позициях минерала преобладают ионы  $Fe^{3+}$ , что подтверждается наличием в центральной части спектра ЯГР дублета линий [6], обусловленных присутствием ионов  $Fe^{3+}$  в положении  $P_2$ . Кроме того, фиксируются входящие в октаэдрические сетки этого же минерала ионы  $Fe^{3+}$  в положении  $P_1$  с наименьшим значением  $\Delta$ . Октаэдры, включающие ионы  $Fe^{3+}$  этой формы, наименее искажены благодаря симметричному окружению только трехвалентными ионами в октаэдрической сетке с ионами  $Si^{4+}$  в тетраэдрической. Первый дублет ионов  $Fe^{3+}$  силиката (положение  $P_1$ ) отражает, вероятно, их вклад в структуру гётита, который, судя по интенсивному рефлексу 0,416 нм на дифрактограммах, присутствует здесь в существенном количестве. Однако из-за высокой дисперсности частиц гётита в мессбауэровском спектре не выявляется сверхтонкая структура  $Fe^{3+}$ , хотя дублет линий четко фиксируется. Выше по разрезу с повышением содержания гётита этот дублет выявляется по минимальной полуширине спектра ( $\Gamma_1=0,28$  мм/с). Однако в верхах этой КВ содержание гётита несколько сокращается. В этом направлении увеличивается содержание каолинита, который представлен здесь относительно тонкими по оси микроблоками размером не более 2–3 мкм. Интенсивное развитие здесь каолинита сопровождается выделением аморфного кремнезёма.

*Кора выветривания на туфогенных образованиях корвунчанской свиты нижнего триаса, по сравнению с площадными остаточными КВ на терригенно-карбонатных породах и долеритах, распространена весьма ограничено. Такие туфогенные породы нижнего триаса сохранились от размыва в виде относительно небольших полей лишь в самой северо-западной части МБАР. На остальной территории трапшового плато отмечаются мелкие разобшённые сложных очертаний останцы этих пород, выполняющие отрицательные формы раннетриасового рельефа. Сохранившаяся мощность КВ туфогенных образований корвунчанской свиты обычно составляет первые метры, только изредка достигая до 27 м. Выветрелые породы в таких профилях представлены зеленовато- и желтовато-серыми или коричневыми агломератовыми туфами и туфобрекчиями. Обломочный материал (включения алевролитов, терригенно-карбонатных пород, долеритов, гравия кремнистых пород и др.) в отдельных местах составляет до половины объема туфогенных образований. Структура материнских пород преимущественно кристалло-литовитрокластическая, псефи-*

то-псаммитовая, участками до псаммитовой. Цементирующая масса сложена изотропным пепловым материалом (бурой и грязно-бурой окраски) с обломками различных пород (траппов, алевролитов и кварцитов) и некоторых породообразующих минералов (кварца, полевых шпатов и др.). Нередко в этих довольно плотных туфогенных породах отмечаются следы вторичных изменений – ожелезнения, пиритизации и кальцитизации. По мере выветрелости пород изменяется и их окраска. В нижних частях профилей выветривания (т. е. на ранней стадии преобразования пород) по первичным железистым минералам (магнетит и др.), содержащим в основном двухвалентное железо, развиваются псевдоморфозы в виде безводного оксида Fe – гематита. Выше по разрезу он переходит в наиболее устойчивый в гипергенных условиях гидроксид Fe – гётит. При окислении Fe<sup>2+</sup> в структуре хлорита и разложении последнего вначале также возникает гематит, который по мере усиления выветрелости пород опять-таки переходит в гётит. Биотит последовательно трансформируется в парагенетическую ассоциацию вермикулита и монтмориллонита. Последний на ранних этапах выветривания в связи с наличием в структуре преимущественно Mg и Fe<sup>3+</sup> близок к ди-триоктаэдрическому типу. Детальный анализ изменения форм железа в продуктах выветривания позволил дифференцировать его распределение и соотношение форм с различной валентностью по разрезу и в составе отдельных минеральных фаз. В хлорите Fe<sup>2+</sup> находится [6] в двух позициях (M<sub>1</sub> и M<sub>2</sub>), преобладая в дис-позициях (M<sub>1</sub>). В свою очередь, Fe<sup>3+</sup> в вермикулите и ди-триоктаэдрическом монтмориллоните также распределён по двум позициям, соответственно P<sub>3</sub> и P<sub>2</sub>.

Кора выветривания на кимберлитовых породах отмечена на многих трубках СП. Так, в МБАР КВ кимберлитов отмечена на трубках имени XXIII съезда КПСС, Дачная, Таёжная, Амакинская, Интернациональная и Мир. Наиболее химически переработанными являются кимберлиты трубки им. XXIII съезда КПСС [6–8, 14], по скважинным разрезам которой отмечена более глубокая химическая переработка других кимберлитовых диатрем Якутии. Изученные нами новые разрезы (скв. А-63К и шахта 102) позволили провести комплексные исследования минерального состава кимберлитовых пород в процессе выветривания. Так, исходные, подвергшиеся выветриванию, породы этой трубки представлены серой и голубовато-серой плотной кимберлитовой брекчией (скв. А-63К, глубина 32,9 м; шахта 102, глубина 30 м и ниже). Преобладающая масса породы сложена агрегатами кальцита и серпентина с мелкими рассеянными выделениями магнетита. Количество обломочно-го материала редко превышает 25 % объема породы. Из слоистых силикатов таких пород установлены пластинчатые серпентины, структура которых состоит из слоёв типа А и В [8]. Ассоциирует серпентин на таких участках с гидрослюдой, МГСО, хлоритом, вермикулитом и монтмориллонитом. Гидрослюда связана в основном с диоктаэдризацией флогопита и наследует свойственный последнему политип 1М. Выше по разрезу усиливается трещиноватость пород. Трещины выполнены грязно-бурыми (местами до серовато-чёрных) вторичными образованиями. Отдельные прослои сложены сероцветными глинистыми образованиями с большим количеством мелких (мельче 0,1 мм) выделений гидроксидов железа и сидерита. Иногда на фоне сильноизменённых (до глинистого состояния) образований встречаются единичные слабоизменённые псевдоморфозы серпентина. Содержание гидрослюды здесь в целом небольшое, но нередко возрастает количество монтмориллонита, причем вверх по разрезу он становится бо-

лее поликатионным, так как в составе лабильных межслоевых продуктов относительно возрастает роль Na. Судя по значению *b* (0,893 нм), в октаэдрических сетках его структуры присутствует главным образом Al и частично Fe<sup>3+</sup>. По всему профилю выветривания монтмориллонит ассоциирует с переменной примесью МГСО, которому здесь свойственна тенденция к упорядоченности, а к верхам приобретает явные элементы разупорядоченности структуры. В этой части профилей присутствует более существенная, чем в неизменённых кимберлитах, примесь Fe-Mg- или близкого к Mg типу хлорита, представленного за счёт частичной деградации смесью разностей как с “нормальной”, так и с “дефектной” структурами [7]. В ассоциации с ними отмечается примесь серпентина, представленного структурным типом А. Это сопровождается уменьшением его параметра *b* (с 0,920 до 0,915 нм) вследствие повышения в структуре роли катионов с меньшим ионным радиусом (Fe<sup>3+</sup>). Судя по проявлению в этой зоне (в прослоях с невысоким содержанием хлорита) на кривых ДТА дериватограмм интенсивного эндоэффекта при температуре 540–560 °С и экзоэффекта при 900–910 °С, а также сохранению на дифрактометрических кривых слабых рефлексов, кратных 0,715 нм после обработки образцов HCl, в этих продуктах выветривания есть примесь каолинита. В продуктах выветривания самих верхних горизонтов описываемых профилей содержится в основном монтмориллонит, ассоциирующий обычно с неупорядоченными МГСО, в межслоевых промежутках которых преобладают Mg и Ca. Значительно увеличивается здесь и отношение интенсивностей рефлексов 1,0 и 0,5 нм на дифрактограммах, что указывает на последовательное изменение совершенства структуры и химического состава слюдистых минералов. Соответственно, на кривых ИК-спектров образований самих верхних частей профилей сохраняются полосы поглощения деформационных колебаний Si-O-Al<sup>VI</sup>-связи с частотой 525–530 см<sup>-1</sup> после прокаливания образцов при 600 °С, которая исчезает в продуктах нижних частей профилей. Это свидетельствует об увеличении по разрезу содержания Al в структуре трехэтажных минералов разбухающего типа. Следует отметить, что серпентин сохраняется вплоть до самых верхних частей разреза, а содержание каолинита практически не меняется.

Таким образом, в основных алмазоносных районах СП одновременно выветриванию в позднем девоне – раннем карбоне и среднем – позднем триасе подверглись различные породы, что обусловило специфический характер гипергенных продуктов, возникающих особенно на промежуточных стадиях, в профиле КВ на породах каждого типа. В ряде случаев денудация элювиальных толщ, сформированных на рассматриваемых породах, также происходила в одно и то же время. Поэтому в отдельные участки аккумулятивных бассейнов, за счёт размыва и переотложения продуктов выветривания различных пород, поступал весьма неоднородный материал, характеризующийся для каждой определённой коры специфическими типоморфными особенностями как первичных, так и вторичных минералов. В связи с этим важно установить в разрезах КВ на различных породах главнейшие типоморфные признаки, свойственные индивидуальным разностям первичных и вторичных минералов. Так, присутствующий в терригенно-карбонатных породах триоктаэдрический, в основном раннекатагенетический тонкодисперсный хлорит, образующий цемент в породах и возникающий, в отличие от метаморфических разностей этого минерала, при низких значениях *P* и *T* среды, быстро разлагается в зоне гипергенеза. Поэтому пелитоморфные продукты выветривания этих пород пред-

ставлені виключительно діоктаэдричеськими мінералами. На ранніх стадіях виветривання это первичні мінерали (гідрослюда і МГСО), а на більш пізніх стадіях і вторичні мінерали (в частині, каолінит). О преобладанні тріхвалентних катіонів в октаэдричеських позиціях структури указаних мінералів свідечує параметр  $b$  їх елементарних ячеєк (0,9 нм у різновидностей тріхэтажного і 0,89 нм – двухэтажного типу), а також дегідратація їх в два етапи (в інтервалах околo 100–200 і 500–600 °С). Особенністю глинистої складової КВ терригенно-карбонатних порoд, незалежно от часу їх формування, слідует считать повсеместное присутствие в её составе гидрослюды  $2M_1$  с Al і Fe<sup>3+</sup> в октаэдричеських позиціях. Вельма характерним мінералом в продуктах виветривання терригенно-карбонатних порoд являється також МГСО, специфічеської особенністю которого, наряду с преобладанієм в нижніх частях розривів (по отношению к гидрослюде  $2M_1$ ), считается тенденция к упорядоченному чередованию пакетов, унаследованная от предыдущего этапа интенсивного катагенетического преобразования исходных пород. Для верхніх частей этого типа КВ характерен і каолінит с полубеспорядочной структурой. Следовательно, присутствие каолинита и гидрослюды  $2M_1$  со значительно разупорядоченной структурой следует считать прямым и наиболее надёжным типоморфным признаком относительно глубокой стадии виветривання терригенно-карбонатных порoд. При этом в связи с большей по сравнению со смешанослойной фазой и гидрослюдой  $1M$ , устойчивостью гидрослюды  $2M_1$ , она начинает преобладать над последними, что является дополнительным, кроме парагенезиса с каолинитом, типоморфным признаком для данной стадии виветривання этих порoд.

Отличительной особенностью глинистых мінералов в слабоизменённых профилях КВ долеритов является сохранение Mg-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонита до тех пор, пока в порoдах фиксируется вермикулит. Это связано с тем, что на первом этапе выноса Mg из межслоевых промежутков вермикулита монтмориллонитовые слои возникают на поверхности кристаллов исходного мінерала, главным образом, со стороны боковых граней. Вследствие этого обе фазы остаются сегрегированными друг от друга и в структурном отношении представляют механическую смесь. Ди-триоктаэдричеський тип монтмориллонита одновременно с парагенетической ассоциацией мінерала с вермикулитом является надёжным типоморфным признаком продуктов ранней стадии виветривання долеритов. По мере возникновения в верхніх частях наиболее изменённых профилей пакетов монтмориллонита в пределах всего объёма кристаллов микроблоки вермикулита распадаются на отдельные слои, сохранившие, несмотря на сопровождающую этот процесс их существенную диоктаэдризацию, реликтовую структуру последнего. Такие слои, неупорядоченно чередуясь с разбухающими пакетами, образуют смешанослойную фазу, присутствие которой в продуктах виветривання основных порoд, в связи с совершенно иной природой чередующихся пакетов, является их типоморфным признаком. При резком уменьшении количества вермикулитовых пакетов в структуре смешанослойного образования оно (с одновременным резким увеличением количества дефектов в структуре) всё более приближается к диоктаэдричеському типу, что сопровождается также усилением роли Al в октаэдричеських позиціях структуры этой фазы. Данное смешанослойное образование характеризуется беспорядочным наложением слоёв в структуре и пони-

женными значениями параметра  $b$  (0,894–0,896 нм) элементарной ячейки. Ему свойственно также слабое разбухание с глицерином после насыщения K, что указывает на относительно высокий заряд силикатных слоёв структуры.

Для нижних горизонтов КВ туфогенных образований трубок взрыва СП наиболее характерными слоистыми силикатами являются вермикулит и низкотемпературный хлорит. Последний, как и хлорит из КВ терригенно-карбонатных порoд, быстро разлагается вверх по разрезу. На основе вермикулита здесь, как и в продуктах виветривання долеритов, вначале возникает ассоциация вермикулита и Mg-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонита, которые в верхніх частях разреза в результате гомогенизации переходят в неупорядоченное ВМСО. Более интенсивное преобразование туфогенных порoд трубок взрыва привело к существенно более раннему, чем в долеритах, образованию каолинита. Последний в этом случае формируется в три стадии: по микроклину, средним плагиоклазам (через стадию их монтмориллонитизации) и по ВМСО, причём у слоистых фаз перед этим ухудшается степень совершенства структуры. По данным электронографии и растровой электронной микроскопии, каолинит в этом случае характеризуется в целом беспорядочным наложением слоёв в структуре и нечёткой псевдогексагональной формой кристаллов, особенно при возникновении его по смешанослойной фазе, что характерно для изменённых основных порoд. Парагенезис такого каолинита с неупорядоченным ВМСО может служить прямым и весьма надёжным признаком довольно глубокой стадии виветривання этих порoд. В исходных туфогенных порoдах некоторых трубок и корвунчанской свиты средние и основные плагиоклазы преобладают над микроклином, что обусловило появление в продуктах их виветривання каолинита с метagalлузитом. Такую парагенетическую ассоциацию можно использовать в качестве типоморфной как для идентификации основных порoд в целом, так и для дифференциации отдельных их разновидностей по продуктам виветривання.

Особый интерес представляет вопрос о типоморфных особенностях продуктов виветривання кимберлитов, в которых в различной степени сохраняются устойчивые мінералы этих порoд (ИМК – алмаз, пироп, пикроильменит, хромшпинелиды и др.). Как в плотных, так и в виветрелых кимберлитах нередко отмечаются келифитовые каймы, являющиеся продуктом реакции пироба с расплавом. Внешняя поверхность их обычно покрыта бугорчатыми образованиями, повторяющими рельеф зерна по келифитовой кайме, которая часто имеет радиально-лучистое строение. Между основанием каймы и поверхностью пироба, как и по трещинам в нем, отмечаются пелитоморфные новообразования, в составе которых преобладает хлорит с незначительной примесью флогопита и кальцита. В глинистой складової продуктов виветривання кимберлитов, кроме содержащихся и в легкой фракции серпентина, хлорита и вермикулита, присутствует также монтмориллонит, МГСО и гидрослюда. В октаэдричеських сетках структуры разбухающих мінералов, судя по  $b=0,893$  нм, содержатся главным образом Fe<sup>3+</sup> и Al. В нижніх и средних частях КВ кимберлитов МГСО характеризуется тенденцией к упорядоченному чередованию пакетов. К верхам профилей в ней появляются явные элементы разупорядочения структуры и в лабильных межслоевых промежутках, как и в монтмориллоните, преобладают Mg и Ca. По кристаллохимическим особенностям указанная смешанослойная фаза рассматриваемого типа КВ существенно отличается от аналогичной в изменённых терригенно-карбонатных порoдах. Это связано

с иными природой и химическим составом исходного материала, за счёт которых в кимберлитах возникло указанное образование, представленное продуктами диоктаэдризации флогопита и дальнейшей его деградации. Это обуславливает свойственный указанным продуктам высокий отрицательный межслоевой заряд, который наследуется от исходной слоистой структуры. Такие особенности смешанослойной фазы, характеризующейся специфической неоднородностью слагающих её пакетов, являются важным типоморфным признаком продуктов выветривания кимберлитов. Кроме того, для продуктов выветривания этих пород характерен пластинчатый серпентин, структура которого состоит из слоёв типов А и В. Серпентин сохраняется вплоть до самых верхов профилей выветривания, где характеризуется политипом А. При этом для частиц новообразованного политипа (А) вначале характерна округлая глобулярная форма (размер глобул до 0,5 мкм). Глобулы образуются иногда на острых гранях других минералов. Они сочленяются в вытянутые червеподобные сростки длиной в несколько микрометров. Вверх по разрезу профилей выветривания обычно увеличиваются размеры новообразованного серпентина и их сростков. Следует отметить, что морфологические выделения серпентина в породах, не затронутых выветриванием, существенно отличаются от его форм в продуктах гипергенного изменения кимберлитов и родственных им пород. Характерная для этих продуктов выветривания гидрослюда связана в основном с изменением флогопита и наследует свойственный ему политип 1М, что также является важнейшим её типоморфным признаком.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борис Е. И., Зинчук Н. Н. Структурно-формационные и генетические особенности формирования продуктивных отложений верхнего палеозоя и мезозоя бассейна среднего течения р. Вилюй в связи с поисками месторождений алмазов//Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж: ВГУ, 2005. – С. 1339–1361.
2. Звягин Б. Б., Врублевская З. В., Жухлистов А. П. и др. Высоковольтная электронография в исследовании слоистых минералов. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
3. Зинчук Н. Н. О стратиграфической приуроченности, диагностике и генезисе каолинита в мезозойских терригенных отложениях Мало-Ботуобинского района (Западная Якутия)//Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1976. – № 12. – С. 27–35.
4. Зинчук Н. Н. Об основных источниках глинистых минералов в мезозойских континентальных алмазоносных отложениях Западной Якутии//Геология и геофизика. – 1982. – № 8. – С. 81–90.
5. Зинчук Н. Н. Глинистые минералы в древних корах выветривания и продуктах их перетотложения в континентальных толщах Западной Якутии. – М.: МОИП, 1986. – С. 5–19.
6. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформы//Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
7. Зинчук Н. Н. Кора выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и разработки алмазных месторождений). – Новосибирск: НГУ, 1994. – 240 с.
8. Зинчук Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000. – 538 с.
9. Зинчук Н. Н. Задачи и возможности литолого-минералогических исследований при алмазопроисловых работах на закрытых территориях//Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. Материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК “АЛРОСА” – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 314–325.
10. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Борис Е. И. Древние коры выветривания и поиски алмазных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 196 с.
11. Иванив И. Н., Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Хмелевский В. А. Состав, условия формирования отложений иреляхской свиты//Советская геология. – 1977. – № 5. – С. 148–156.
12. Казанский Ю. П. Выветривание и его роль в осадконакоплении. – М.: Наука, 1976. – 271 с.
13. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об устойчивости и палеогеографическом значении гидрослюд в корах выветривания и продуктах их перетотложения на территории Западной Якутии//ДАН СССР – 1980. – Т. 255. – № 3. – С. 705–709.
14. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Закономерности изменения химического состава пород в зоне гипергенеза//Гипергенез и рудообразование. – М.: Наука, 1988. – С. 15–28.
15. Хмелевский В. А., Зинчук Н. Н. Минералы легких и глинистых фракций мезозойских алмазоносных россыпей Западной Якутии (на примере одной из россыпей Мало-Ботуобинского района). – М.: ВИНТИ, 1974. – 27 с.

#### REFERENCES

1. Boris E. I., Zinchuk N. N. Structural-formational and genetic features of Upper Paleozoic and Mesozoic productive sediments formation of the Vilyuy middle course basin in connection with prospecting of diamond deposits//Geology of diamonds – present and future (geologists to the 50<sup>th</sup> anniversary of Mirny and diamond-mining industry of Russia). – Voronezh: VSU, 2005. – P. 1339–1361. (In Russian).
2. Zvyagin B. B., Vrublevskaya Z. V., Zhuhlistov A. P. et al. High-voltage electronography in investigation of laminated minerals. – Moskva: Nauka, 1979. – 224 p. (In Russian).
3. Zinchuk N. N. About stratigraphic confinedness, diagnostics and genesis of kaolinite in Mesozoic terrigenous sediments of Malo-Botuobinsky region (Western Yakutia)//News of HEI. Geology and Exploration. – 1976. – № 12. – P. 27–35. (In Russian).
4. Zinchuk N. N. About main sources of argillaceous minerals in Mesozoic continental diamondiferous deposits of Western Yakutia//Geology and Geophysics. – 1982. – № 8. – P. 81–90. (In Russian).
5. Zinchuk N. N. Argillaceous minerals in ancient crusts of weathering and products of their redeposition in continental rock mass of Western Yakutia. – Moskva: MOIP, 1986. – P. 5–19. (In Russian).
6. Zinchuk N. N. Comparative characteristics of material composition of kimberlite rocks' crusts of weathering of the Siberian and East-European platforms//Geology and Geophysics. – 1992. – № 7. – P. 99–109. (In Russian).
7. Zinchuk N. N. Crusts of weathering and secondary changes of the Siberian platform kimberlites (in connection with the problem of prospecting and mining of diamond deposits). – Novosibirsk: NSU, 1994. – 240 p. (In Russian).
8. Zinchuk N. N. Postmagmatic minerals of kimberlites. – Moskva: Nedra, 2000. – 538 p. (In Russian).
9. Zinchuk N. N. Tasks and possibilities of lithological-mineralogical investigations during diamond-prospecting works on closed territories//Problems of forecasting and prospecting of diamond deposits on closed territories. Materials of the conference devoted to the 40th anniversary of YaGGER&D CNIGRI of “ALROSA” OJSC. – Yakutsk: YRC RAS SB, 2008. – P. 314–325. (In Russian).
10. Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Boris E. I. Ancient crusts of weathering and prospecting of diamond deposits. – Moskva: Nedra, 1983. – 196 p. (In Russian).
11. Ivaniv I. N., Zinchuk N. N., Boris E. I., Hmelevskij V. A. Composition, conditions of Irelyakh suite sediments formation//Soviet Geology. – 1977. – № 5. – P. 148–156. (In Russian).
12. Kazanskij Ju. P. Weathering and its role in sedimentation. – Moskva: Nauka, 1976. – 271 p. (In Russian).
13. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. About stability and paleogeographical significance of hydromicas in crusts of weathering and products of their redeposition on the territory of Western Yakutia//USSR DAS. – 1980. – V. 255. – № 3. – P. 705–709. (In Russian).
14. Hitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D. Regularities of the rocks' chemical composition alteration (change) in the zone of hypergenesis//Hypergenesis and ore formation. – Moskva: Nauka, 1988. – P. 15–28. (In Russian).
15. Hmelevskij V. A., Zinchuk N. N. Minerals of light and argillaceous fractions of Western Yakutia Mesozoic diamondiferous placers (on the example of one of Malo-Botuobinsky region placers). – Moskva: VINITI, 1974. – 27 p. (In Russian).

Рукопис отримано 29.10.2018.

УДК 550.8.02

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.21-24>

**В. П. ЧЕПІЛЬ**, головний фахівець (АТ "Укргазвидобування"), м. Київ, Україна, volodymyr.chepil@ugv.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5800-590X>

**V. CHEPIL**, chief specialist (JSC "Ukrigasvydobuvannya"), Kyiv, Ukraine, volodymyr.chepil@ugv.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5800-590X>

# ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ РОБІТ НА СЛАНЦЕВИЙ ГАЗ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ НА РЕГІОНАЛЬНІЙ СТАДІЇ ВИВЧЕННЯ

## FEATURES OF CONDUCTING OF GEOLOGICAL EXPLORATION ON SHALE GAS IN VOLYNO-PODILLIA AT THE REGIONAL STAGE OF STUDYING

Особливості структурних умов залягання, газонакопичення, літолого-фаціальних, петрофізичних і геомеханічних параметрів, чинників екранування, характеру газонасичення газоносних сланців принципово відрізняються від традиційних покладів газу. Стратиграфічна сланцева формація розглядається як потенційний газовий поклад. З огляду на цю специфіку її виділення й картування потрібно виконувати вже на регіональному етапі. Для оконтурювання газоперспективних сланцевих формацій Волино-Поділля та виділення найперспективніших ділянок пропонуємо комплексувати регіональну сейсмічну зйомку 2Д для великих глибин з методами електророзвідки різних модифікацій, викликаної поляризації, електромагнітними та іншими методами за профілями сітки регіональної сейсморозвідки, великомасштабної атмогеохімічної зйомки та інших прямих методів.

Завершенням регіонального етапу має бути буріння пілотних вертикальних параметричних свердловин із суцільним відбиранням керн з перспективних сланцевих товщ та його комплексними дослідженнями.

Перспективи подальших геологорозвдувальних робіт і їхній комплекс визначатимуть за результатами геолого-економічної оцінки перспектив нафтогазоносності регіону та отриманих результатів робіт початкового етапу.

**Ключові слова:** сланці, газ, Волино-Поділля, формації, сейсморозвідка.

Features of structural conditions of occurrence, gas accumulation, lithofacies, petrophysical and geochemical parameters, shielding factor, character-bearing shale gas saturation are fundamentally different from traditional gas deposits. Stratigraphic shale formation considered as a potential gas deposit. Considering this specificity its allocation and mapping must be executed at an early stage. To delineate gas bearing shale formations of Volyno-Podillia and allocation the most perspective areas offered a complexation of regional seismic survey 2D for great depths (two longitudinal profiles of north-western stretch as it continued from the Lublin basin in Poland and 5 crosssections from southwest to the northeast with its total length of about 1500 linear kilometers) with electric prospecting methods of different modifications, caused polarization, electromagnetic methods of regional seismic exploration grids profiles, large-scale atmogeochemical shooting and other direct methods. As the completion of regional stage must be drilling of vertical parametric pilot wells with solid coring from perspective shale strata, laboratory studies of organic matter, of katagenesis, lithofacies and mineralogical composition of shales, their petrophysical and geochemical properties, modeling and testing perspective shale strata using multistage hydrogaps. Prospects of further exploration and it's complex based on the results geologic-economic evaluation of perspective of petrogas of the region and obtaining results of works start-up phase.

**Keywords:** shales, gas, Volyn-Podillia, formations, seismic exploration 2D.

### Вступ

Стан енергетичного сектору України й нестабільність ситуації в Східному й Південному регіонах, де зосереджені основні за запасами родовища та перспективні об'єкти, що забезпечують основний видобуток газу й нафти з конденсатом, і розвинена відповідна інфраструктура, потребують невідкладного нарощування перспективних ресурсів і запасів промислових категорій вуглеводнів для стабілізації та збільшення власного видобутку газу й нафти для забезпечення енергетичної безпеки держави. А істотне скорочення в останні роки обсягів геологорозвдувальних робіт у Західному регіоні і, як наслідок, зменшення кількості нових відкриттів родовищ і зниження видобутку нафти й газу, спонукає до невідкладних наукових, геолого-тематичних, лабораторно-аналітичних досліджень нових перспективних на вуглеводневу сировину і насамперед нетрадиційних джерел вуглеводнів, стратиграфічних комплексів і територій, зокрема південно-західного схилу (Волино-Подільського) Східноєвропейської платформи.

Суттєве нарощування в останні роки великих обсягів видобутку газу й нафти зі сланців у США, Канаді, інтенси-

фікація досліджень з проблеми сланцевого газу в багатьох країнах світу [8, 9], що вже вплинуло на перерозподіл джерел постачання газу, зміни пріоритетів, зокрема й політичних – усе це визначає актуальність досліджень.

Метою цієї роботи є визначення першочергових напрямів геологорозвдувальних робіт на неконвенційні вуглеводні Волино-Поділля на початковому етапі вивчення.

### Аналіз літературних даних, постановка завдання та опис розв'язання проблеми

Україна все ще була осторонь процесу оцінювання перспектив нафтогазоносності нетрадиційних джерел вуглеводнів попри те, що в Польщі вже тривалий час світові компанії інтенсивно досліджують велику частину території країни з проблеми сланцевого газу і прагнуть добувати газ із силурійських сланців схилу Східноєвропейської плити. На сьогодні в країні вже експлуатують перші пілотні свердловини.

Перші вітчизняні дослідження з цієї проблеми з'явилися друком в українських наукових виданнях з 2010 року. За останні роки виконано великі обсяги наукових, геолого-тематичних і лабораторно-аналітичних робіт з проблеми нетрадиційних джерел вуглеводнів нафтогазоносних басейнів України [2, 4, 6]. Майже всі проведені роботи стосуються регіонального етапу геологічного вивчення.

Українські дослідники так само провели відповідні дослідження та узагальнення наявних геолого-геофізичних даних, накопичених під час геологорозвідувальних робіт у межах української частини західного схилу Східноєвропейської платформи, з погляду перспектив промислової нафтогазоносності нетрадиційних джерел вуглеводнів, зокрема сланцевого газу, зважаючи на цілеспрямовані дослідження, які проводять в Україні в останні роки [5, 3].

За результатами літологічних, мінералого-петрографічних, петрофізичних, геохімічних, термометричних досліджень порід (описи й лабораторні дослідження кернів, шліфів, промислово-геофізичні дані, результати газового каротажу, кількість органічної речовини в перспективних відкладах та їхня термічна зрілість, ступінь катагенезу, помірні глибини залягання перспективних горизонтів тощо) можна однозначно констатувати, що найперспективнішим на сланцевий газ є південно-західний схил Східноєвропейської платформи (Волино-Поділля, північно-східна і східна частини Львівського прогину), передусім відклади лудловського ярусу верхнього силуру [5, 3].

Потенційно продуктивною товщею є також відклади верхнього ордовіку й нижнього силуру. З умістом органічної речовини, попередньо визначеної в сланцях, понад 1,0–1,5 % катагенез тут характеризується найсприятливішими для нафтогазоутворення етапами (МК<sub>2</sub>–АК<sub>1</sub>), які могли забезпечити генерацію газу метану у великих обсягах.

Під час визначення перспектив і геолого-економічного обґрунтування пошуків покладів вуглеводнів величина добувних ресурсів відіграє особливу роль. Прогнозні добувні ресурси газу чорносланцевих порід силуру Волино-Поділля становлять приблизно 1,8 трлн м<sup>3</sup> [5, 3], а з огляду на чорносланцеві відклади верхнього ордовіку й нижнього силуру можуть сягати понад 2 трлн м<sup>3</sup>. З огляду на чималі прогнозні ресурси сланцевого газу чорносланцевих товщ і високу ймовірність відкриття традиційних покладів вуглеводнів у палеозойських відкладах, територія досліджень потребує проведення цілеспрямованих геологорозвідувальних робіт, які сприятимуть нарощуванню паливно-енергетичного потенціалу України.

Газоносна сланцева система принципово відрізняється від традиційних покладів газу за геологічними умовами газонакопичення, структурними умовами залягання, літологічними, петрофізичними та геомеханічними параметрами, чинниками екранування, характером газонасичення тощо [1]. Якщо традиційні скупчення газу приурочені до класичних антиклінальних, структурно-тектонічних, літологічних чи комбінованих пасток, моделі колектор-(напівпокришка) покришка, то поклади сланцевого газу приурочені до великих однотипних (сланцевих) літофаціальних стратиграфічних формацій з одночасними функціями колектора й покришки.

З огляду на цю специфіку родовищ сланцевого газу, пріоритетні комплекси геологорозвідувальних робіт теж мають бути видозмінені. Якщо сланцеву стратиграфічну формацію розглядати як потенційний продуктивний комплекс, то власне її картування й виділення найперспективніших ділянок треба виконувати вже на регіональному етапі вивчення.

До комплексу геофізичних методів має входити 2Д регіональна сейсмічна зйомка для великих глибин як доповнення до раніше проведених регіональних сейсмічних профілів. Водночас цю зйомку бажано виконувати за відомою технологією компанії IONGeophysical-GXT як продовження розпочатої в суміжному Люблінському басейні Польщі від-

повідно до концепції “SPAN”; що успішно виконана для Балтійсько-Чорноморського басейну. Ця технологія забезпечує наддовгі системи спостережень (до 12 км), збільшений час записування сейсмічних сигналів (12 с), невеликі відстані між каналами записування (25 м), збільшену кратність перекриттів (480) тощо та комплексну інтерпретацію з попередніми 2Д регіональними сейсмічними дослідженнями й результатами пробурених свердловин.

Завдання 2Д регіональної сейсмічної зйомки за згаданою технологією мають містити: наукове регіональне вивчення перспективної території; вивчення стратиграфічних комплексів; геологічну будову басейну; регіональний розподіл сейсмофаций, як і відображують будову нижньопалеозойських сланців та їхніх товщин, особливо поблизу зони Тейсейре-Торнквіста, де наявні сейсмічні дані є не досить достовірними; вивчення тектонічної еволюції басейну й відтворення його глибинної будови; визначення розподілу основних і другорядних зон розломів, які незадовільно відображують наявні сейсмічні дані; моделювання вуглеводневих систем тощо.

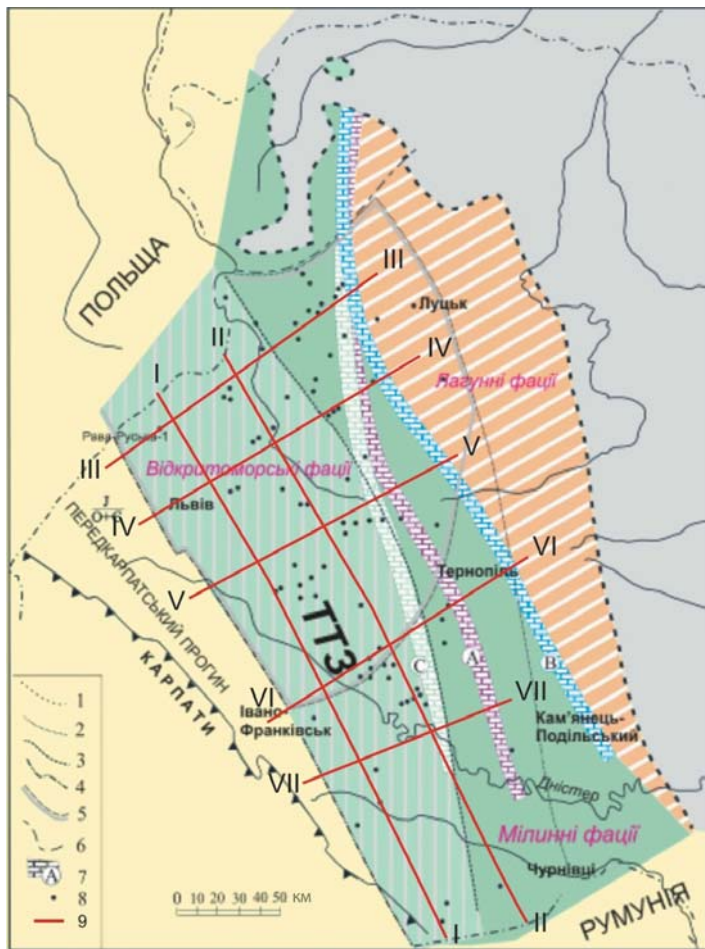
З огляду на польський досвід доцільно виконати в межах Волино-Поділля як щонайменше два поздовжні профілі північно-західного простягання як їхнє продовження з Люблінського басейну Польщі, а також п'ять поперечних профілів з південного-заходу на північний схід загальною протяжністю приблизно 1,5 тис. пог. км, варіант розміщення сітки згаданих сейсмопрофілів наведено на рисунку.

Нетрадиційні джерела вуглеводневого газу створюють різні аномальні геоелектричні, електромагнітні та інші ефекти, унаслідок чого не менш важливу роль на початковому етапі вивчення мають відіграти відомі різнотипні геоелектричні методи (МТЗ, ВЕЗ, ДЕЗ та ін.), методи становлення короткоімпульсного електромагнітного поля (СКІП) і вертикального електрорезонансного зондування (ВЕРЗ) для виявлення цих аномальних ефектів. Підставою для використання цих методів є диференціація геологічного розрізу за електричним опором, діелектричною проникністю та іншими електричними й електромагнітними властивостями. Оскільки найважливішою фізико-хімічною специфікою газозносних сланців є їхня маловодність і гідрофобність, то їхні товщі виділятимуться високоомними, електромагнітними та іншими аномаліями. Власне геоелектричні, електромагнітні методи можна розглядати як прямі методи просторового картування газоперспективних чорносланцевих формацій.

На початковій стадії геологічного вивчення перспективних територій О. Ю. Лукін [7] пропонує використання методу викликаної поляризації (ВП) як прямого методу просторового картування чорносланцевих формацій, зважаючи на їхню високу насиченість дисперсним піритом. Ця особливість, а також інші особливості мінерального складу й геохімії як чинники формування аномальних ефектів – підвищена уран-радіева радіоактивність, підвищена наявність дисперсних частин самородних металів, зокрема заліза, тощо – характерні майже для всіх родовищ сланцевого газу Північної Америки.

Через це, окрім згаданих електричних методів, важливу роль мають відігравати також і атмогеохімічні дослідження.

Отже, на початковій стадії геологічного вивчення для оконтурювання газоперспективних сланцевих формацій Волино-Поділля важливу роль мають відводити комплексування 2Д регіональної сейсмічної зйомки для великих глибин з різнотипними геоелектричними, електромагнітними методами, методом викликаної поляризації за профілями сітки регіональної сейсмозвідки, а також великомасштабних і



**Рисунок. Принципова схема розміщення проектних регіональних сейсмопрофілів 2Д**

1–3 – східна межа поширення відкладів (1 – силуру, 2 – тиверської серії, 3 – дністерської серії або олд-реду); 4 – західна межа поширення відкладів силуру й девону; 5 – межа поширення середньодевонських відкладів (межі Львівського прогину); 6 – зони тектонічних порушень; 7 – розміщення біогермових бар'єрів (А – баговицького, В – малиновецького (конівського), С – скальського (ісаковецького) віку); 8 – свердловини; ТТЗ – Зона Тейсейра-Торнквіста; 9 – проектні сейсмопрофілі 2Д (I–VII)

за потреби деталізаційних гравімагнітної та атмогеохімічної зйомок тощо.

Унаслідок комплексної інтерпретації виконаних досліджень, моделювання палеозойського басейну та системного аналізу отриманих результатів визначатимуть найперспективніші зони (ділянки надр) для подальших пошукових робіт. Важливу роль відіграватимуть технології з прогнозування геологічного розрізу, виділення ділянок з поліпшеними колекторськими властивостями, прогнозування розущільнення, мікротріщинуватості, газонасиченості тощо. Дисперсний характер газонасиченості сланцевих товщ, часткова чи повна маловодність розрізу суттєво змінюють їхні щільнісні, міцнісні, акустичні та інші властивості [7]. Ці чинники відкривають вагомі перспективи для застосування інших модифікацій сейсмозв'язки, зокрема пасивної сейсмозв'язки, яка ґрунтується на цілеспрямованому вивченні природної (спонтанної) сейсмічної активності розсіяних хвиль (мікросейсм) [7], що дає змогу виявляти й картувати хаотично поширені мікротріщинуваті зони.

Завершенням регіонального етапу буде буріння пілотних вертикальних параметричних свердловин у межах виділених

найперспективніших ділянок із суцільним відбиранням керна з перспективних сланцевих товщ з подальшими системними лабораторними дослідженнями вмісту органічної речовини, катагенезу чорносланцевих порід, їхнього літолого-фаціального та мінералогічного складу, петрофізичних і геомеханічних властивостей тощо, проведення комплексу ГДС з обов'язковим виконанням ГГК (щільнісного й селективного), моделювання та випробування перспективних газосланцевих товщ з використанням багатоступневих гідророзривів пластів.

Перспективи подальших геологорозвідувальних робіт визначатимуть за отриманими результатами робіт регіонального етапу та геолого-економічної оцінки перспективних об'єктів.

### Висновки

Великі прогнозовані запаси газу чорносланцевих порід силуру Волино-Поділля (приблизно 1,8 трлн м<sup>3</sup>, а з огляду на відклади верхнього ордовіку й нижнього силуру – до 2 трлн м<sup>3</sup>) і висока ймовірність відкриття традиційних покладів вуглеводнів у палеозойських відкладах потребують проведення цілеспрямованих геологорозвідувальних робіт.

Газосланцева система принципово відрізняється від традиційних покладів газу за геологічними умовами газонакопичення, структурними умовами залягання, літологічними, петрофізичними та геомеханічними параметрами, чинниками екранування, характером газонасичення тощо. Зокрема, якщо традиційні скупчення газу приурочені до класичних антиклінальних, структурно-тектонічних, літологічних чи комбінованих пасток, моделі колектор-(напівпокришка) покришка, то поклади сланцевого газу приурочені до великих однотипних (сланцевих) літофаціальних стратиграфічних формацій з одночасними функціями колектора й покришки.

Зазначена специфіка родовищ сланцевого газу спонукає до видозміни вимог до стадійності геологорозвідувальних робіт. Сланцева стратиграфічна формація розглядається як потенційний продуктивний комплекс. Тому її виділення й картування мають виконувати вже на регіональному етапі вивчення геофізичними та іншими методами.

На початковій стадії геологічного вивчення для оконтурювання газоперспективних сланцевих формацій Волино-Поділля важливу роль мають відводити комплексуванню 2Д регіональної сейсмічної зйомки за технологією компанії IONGeophysical-GXT (щонайменше двох поздовжніх профілів північно-західного простягання як їхнього продовження з Люблінського басейну Польщі та п'ятьох поперечних профілів з південного-заходу на північний схід загальною протяжністю приблизно 1,5 тис. пог. км) з методами електророзвідки, викликаної поляризації тощо за профілями сітки регіональної сейсмозв'язки, великомасштабних гравімагнітної та атмогеохімічної зйомок.

Суттєві зміни щільнісних, міцнісних, акустичних та інших властивостей унаслідок дисперсного характеру газонасиченості сланцевих товщ, часткова чи повна маловодність розрізів відкривають чималі перспективи використання пасивної сейсмозв'язки, яка ґрунтується на цілеспрямованому вивченні природної (спонтанної) сейсмічної активності розсіяних хвиль (мікросейсм), що дає змогу виявляти й картувати хаотично поширені мікротріщинуваті зони.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Водерников Г.В. Прогноз залежій углеводородов по характеристикам микросейсм. – Новосибирск: Изд-ство "Свиньян и сыновья", 2012. – 201 с.

2. Гурский Д. С., Михайлов В. А., Чепиль П. М. и др. Сланцевый газ и проблемы энергообеспечения Украины//Мінеральні ресурси України. – 2010. – № 3. – С. 3–8.

3. Крупський Ю. З., Куровець І. М., Сенковський Ю. М., Михайлов В. А., Чепиль В. П. та ін. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга II. Західний нафтогазоносний регіон. – Київ: Ніка-Центр, 2013. – 400 с.

4. Куровець І. М., Михайлов В. А., Зейкан О. Ю., Крупський Ю. З., Гладун В. В., Чепиль П. М., Гулій В. М., Куровець С. С., Касянчук С. В., Грицик І. І., Наумко І. М. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Огляд проблеми. Книга I. – Київ: Ніка-Центр, 2014. – 208 с.

5. Куровець І., Крупський Ю., Чепиль В. Перспективи газонасності та прогнозні ресурси сланцевого газу породних комплексів силуру Волино-Поділля (Україна)//Геологія і геохімія горючих корисних копалин. – Львів, 2014. – № 1–2. – С. 7–15.

6. Лукин А. Е. Сланцевый газ и перспективы его добычи в Украине. Статья 1. Современное состояние проблемы сланцевого газа (в свете опыта освоения его ресурсов в США)//Геол. журнал. – 2010. – № 3. – С. 17–32. – <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57641>.

7. Лукін О. Ю. Геофізичні методи та проблема виявлення нетрадиційних джерел природного газу//Геологічний журнал. – 2014. – № 1. – С. 7–22. – <http://geojournal.igs-nas.org.ua/article/view/138805>.

8. Hill R. J., Jarvie D. M. The Mississippian Barnett Shale//AAPG Bulletin. – 2007. – V. 91. – P. 475–499. – <https://pubs.er.usgs.gov/publication/700300489>.

9. Jaffe A. M. Shale Gas Will Rock the World//The Wall Street Journal. – USA, May 10, 2010. – <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052702303491304575187880596301668>.

#### REFERENCES

1. Vedernikov G. V. Forecast of hydrocarbon deposits according to microseism characteristics. – Novosibirsk: Izd-vo “Svinin i synovja”, 2012. – 201 p. (In Russian).

2. Gurskij D. S., Mihajlov V. A., Chepil P. M. and others. Shale gas and problems of power supply of Ukraine//Mineralni resursy Ukrainy. – 2010. – No 3. – P. 3–8. (In Russian).

3. Krupskiy Yu. Z., Kurovets I. M., Senkovskiy Yu. M., Mykhailov V. A., Chepil V. P. etc. Non-traditional sources of hydrocarbons in Ukraine. Book II. Western gasbearing region. – Kyiv: Nika-Tsentr, 2013. – 400 p. (In Ukrainian).

4. Kurovets I. M., Mykhailov V. A., Zeikan O. Yu., Krupskiy Yu. Z., Hladun V. V., Chepil P. M., Hulii V. M., Kurovets S. S., Kasianchuk S. V., Hrytsyk I. I., Naumko I. M. Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Overview of the problem. Book I. – Kyiv: Nika-Tsentr, 2014. – 208 p. (In Ukrainian).

5. Kurovets I., Krupskiy Yu., Chepil V. Prospects of gas content and forecasting resources of shale gas of Silurian rock complexes in Volyno-Podillia (Ukraine)//Heolohiia i heokhimiia horiuchykh korysnykh kopalyn. – Lviv, 2014. – No 1–2. – P. 7–15. (In Ukrainian).

6. Lukin A. E. Shale gas and prospects for its production in Ukraine. Article 1. The present state of the problem of shale gas (in light of the experience of mastering its resources in the USA)//Heolohichniy zhurnal. – 2010. – No 3. – P. 17–32. – <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57641>. (In Russian).

7. Lukin O. Yu. Geophysical methods and the problem of detection of unconventional natural gas sources//Heolohichniy zhurnal. – 2014. – No 1. – P. 7–22. – <http://geojournal.igs-nas.org.ua/article/view/138805>. (In Ukrainian).

8. Hill R. J., Jarvie D. M. The Mississippian Barnett Shale//AAPG Bulletin. – 2007. – V. 91. – P. 475–499. – <https://pubs.er.usgs.gov/publication/700300489>.

9. Jaffe A. M. Shale Gas Will Rock the World//The Wall Street Journal. – USA, May 10, 2010. – <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052702303491304575187880596301668>.

Рукопис отримано 14.05.2019.

## МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

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

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

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

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

До кожної статті обов'язково навести: індекс УДК, реферат (мовою оригіналу 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.

Растрова графіка: чорно-біле зображення – \*.tif чи \*.psd (Adobe PhotoShop); повнокольорове зображення – \*.tif, \*.eps, \*.psd-формат, розрізнення 300 dpi. Кольорова модель CMYK, чорний колір в одному каналі.

Векторна 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 заносити.

- 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.



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
**МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ  
УКРАЇНИ**

Коллектив журналу  
нагадує авторам  
і читачам, що триває  
передплата на журнал  
**МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ**  
на II півріччя 2019 р.

Передплатний індекс  
за Каталогом  
періодичних видань України –  
**48336**



УДК 551.311.8:548.562:551.35:551.462.8 (262+262.5+262.81)

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.25-33>

**Ад. А. АЛІЄВ**, д-р геол.-мінерал. наук, професор, завідувач відділу "Грязьовий вулканізм" (Інститут геології і геофізики НАН Азербайджану), ad\_aliyev@mail.ru, ResearcherID: 7003863011,

**А. Я. КАБУЛОВА**, канд. геол.-мінерал. наук, провідна наукова співробітниця відділу "Грязьовий вулканізм" (Інститут геології і геофізики НАН Азербайджану),

**Р. Р. РАХМАНОВ**, д-р геол.-мінерал. наук, головний науковий співробітник відділу "Грязьовий вулканізм" (Інститут геології і геофізики НАН Азербайджану)

**Ad. ALIYEV**, prof., head of the department of "Mud volcanism" (Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences), ad\_aliyev@mail.ru, ResearcherID: 7003863011,

**A. KABULOVA**, candidate of geological sciences, leading scientific researcher of the department of "Mud volcanism" (Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences),

**R. RAHMANOV**, doctor of geological-mineralogical sciences, senior research worker of the department of "Mud volcanism" (Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences)

## ГАЗОГІДРАТИ, ГАЗОВІ ФАКЕЛИ І ПОКМАРКИ В ЗОНАХ РОЗВИТКУ МУЛОВОГО ВУЛКАНІЗМУ СЕРЕДЗЕМНОГО, ЧОРНОГО І КАСПІЙСЬКОГО МОРИВ

## ГАЗОГИДРАТЫ, ГАЗОВЫЕ ФАКЕЛЫ И ПОКМАРКИ В ЗОНАХ РАЗВИТИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА СРЕДИЗЕМНОГО, ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

## GASHYDRATES, GAS SEEPS AND POCCKMARKS IN THE ZONES OF DEVELOPMENT OF MUD VOLCANISM MEDITERRANEAN, BLACK AND CASPIAN SEAS

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

У статті на основі аналітичного огляду фактичних матеріалів в опублікованих роботах авторів та інших дослідників розглядаються особливості поширення газогідратів у зонах розвитку грязьового вулканізму Середземного, Чорного й Каспійського морів, є прямими ознаками газонасиченості осадового комплексу відкладень. Виконано порівняльний аналіз складу гідратоутворювальних флюїдів, джерел і глибин поширення газогідратів. Наведено відомості про газові факели (сипи) і покмарки. Передбачається наявність газових факелів і покмарків у водній товщі і на дні Південного Каспію.

**Ключові слова:** грязьові вулкани, газогідрати, газові факели, покмарки, гідратоутворювальні флюїди.

Based on an analytical review of factual materials, the article discusses the peculiarities of the distribution of gas hydrates in the development zones of mud volcanism of the Mediterranean, Black and Caspian seas, which are direct indications of sedimentary gas complex. A comparative analysis of the composition of hydrate-forming fluids, sources and depths of gas hydrates distribution was performed. The article provides information on gas seeps and pokmarks. The presence of gas seeps and pokmarks in the water column and at the bottom of the Southern Caspian is assumed.

**Keywords:** mud volcanoes, gas hydrates, gas seeps, pokmarks, hydrate-forming fluids.

### Введение

Газогидраты (метаногидраты, клатраты), представленные в основном гидратами метана, внешне напоминают обычный лед с характерной кристаллической структурой и представляют собой твердые соединения воды и газов с низкой молекулярной массой. Выход достаточного количества метана и других углеводородных газов в водную среду с низкой температурой (близкой к нулю) при высоком гидростатическом давлении (не менее 50 атм.) приводит к образованию газогидратов в верхней части поддонного разреза, чаще при глубинах воды 300–400 м и более.

Их возникновение зависит от необходимых для газогидратообразования условий (температуры, давления, количества воды и газа), присущих только для определенных участков водного пространства (поверхностные зоны дна океанов и морей) и суши (районы вечной мерзлоты).

После открытия в 1969 г. А. А. Трофимуком, М. В. Черским, В. Г. Васильевым, Ю. Ф. Макогоном и Ф. А. Требиным ранее неизвестного свойства природных газов при определенных термодинамических условиях, образующих залежи в

твердом газогидратном состоянии, были осуществлены рейсы морских научно-исследовательских судов в рамках различных программ, в том числе специальных, с целью оценки газогидратоносных скоплений, и начиная с 1999 г. ежегодно проводятся международные конференции по газогидратам.

Подъемом грунтовыми пробоотборниками донных осадков и проведением геофизических исследований для определения нижней границы стабильности газовых гидратов, соответствующей зоне аномального поведения кажущейся сейсмической границы – BSR (bottom simulation reflector, псевдодонный рефлектор) и маркирующей основание газогидратоносных толщ, было доказано, что чаще всего газогидраты располагаются на континентальных склонах и шельфе материков, причем крайне неравномерно. Наибольшие массы газогидратных скоплений приурочены к зонам разломов, конусам выноса рек, а также жерлам или склонам подводных грязевых вулканов.

Несмотря на то, что приводимые авторами оценки мировых запасов газогидратов (из расчета, что 1 м<sup>3</sup> природного гидрата содержит около 160–180 м<sup>3</sup> метана) значительно отличаются (от 10<sup>15</sup> до 8·10<sup>18</sup> м<sup>3</sup>), эти цифры заметно (на один – два порядка) превышают запасы нефти, газа и при-

родных битумов на нашей планете [11]. Поэтому во многих странах к выявлению и освоению этого нетрадиционного источника углеводородов придается большое значение.

В настоящее время газовые гидраты, сформированные в очагах разгрузки флюидов, связанных с подводным грязевым вулканизмом, известны на западном полушарии в акваториях островов Барбадос и Тринидада (впадина Колумбус), вдоль северного склона Мексиканского залива, на тихоокеанском побережье Коста-Рики и Южно-Шотландском континентальном склоне западного побережья Антарктического п-ова, а на восточном – в Средиземном, Черном и Каспийском морях, континентальном склоне Нигерии, на шельфе юго-западной Африки, к юго-западу от устья р. Оранжевой, Макранской аккреционной призмы, юго-западной акваториальной и глубоководной частях Южно-Китайского моря, акватории юго-западной Японии (впадина Кумано) [1]. Учитывая, что Средиземное, Черное и Каспийское моря являются реликтами древнего океана Тетис, большой интерес представляет сравнительное изучение газогидратов, связанных с грязевым вулканизмом, широко развитым в этом регионе (рис. 1).

#### Ареалы нахождения газогидратов грязевых вулканов и их краткое описание

Газогидраты, связанные с грязевыми вулканами, достоверно установлены в западной части *Средиземноморья* – в заливе Кадис и восточной – в пределах Анаксимандерских гор в приповерхностных слоях дна.

В **заливе Кадис** у юго-западных берегов Пиренейского полуострова и атлантическом побережье Марокко газогидраты обнаружены в грязевых вулканах, выявленных во время рейсов НИС “Профессор Логачев” в 1999–2001, 2004–2006 гг. и R/V Sonne SO175-2, R/V Merian MSM1 в 2003 и 2006 гг. в относительно мелководной (0,2–1,5 км) испано-марокканской и глубоководной (3–4 км) португальской континентальных окраинах [46, 49] (рис. 2).

В кернах, поднятых грунтовым пробоотборником из глубины 1,5 м ниже дна моря с центральной части грязевого вулкана Гинзбург, были прослежены гидраты метана в виде небольших (до 1–2 см в диаметре) включений или же изометричных белых агрегатов размером 2–4 см. А на вулкане Бонжардим газогидраты с поддонной глубины 1,1–1,35 м, соответствующей также центральной части, были представлены в виде мелких изометричных включений размером менее 3 мм [42].

Содержание газогидратов в кернах вулканов соответственно 2–11 и 3–6 % объема брекчии и 4–19 и 5–13 % объема порового пространства [43]. В брекчиях, поднятых на вулкане Капитан Арутюнов, с глубины 1–1,5 м по всей длине

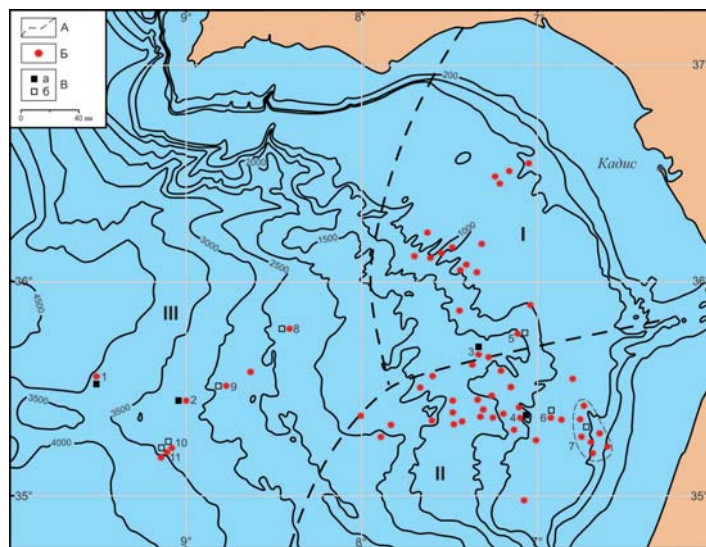


Рис. 2. Размещение грязевых вулканов и газогидратов в Кадисском заливе [44]

Дополнена по данным работы [37]

A – условные границы окраин Кадисского залива (I – Испанская, II – Марокканская, III – Португальская); Б – грязевые вулканы, В – газогидраты: а) установленные (1 – Порто, 2 – Бонжардим, 3 – Капитан Арутюнов, 4 – Гинзбург); б) предполагаемые (5 – Тасио, 6 – Юма, 7 – группа Эль Араиш, 8 – Карлос Рибейро, 9 – Оленин, 10 – Семенович, 11 – Соловьев)

колонки наблюдались газогидраты в форме мелких кристаллов, белых пластинок и агрегатов до 7–10 см в диаметре [2].

Ввиду низких значений хлорности поровой воды (до 390 мМ) в кернах, отобранных из грязевых вулканов Тасио, Юма, Карлос Рибейро, Оленин, Семенович и Соловьев, визуально газовые гидраты не наблюдались, но их наличие предполагается [42]. Присутствие их также допускается в мелководной зоне расположения группы вулканов Эль Араиш на марокканском побережье, на основе прослеживания основания стабильной зоны газогидратов по геофизическим данным и высокого значения тепловых потоков [28].

В **Восточном Средиземноморье** в 1995 г. во время многолучевой съемки в рамках голландского проекта ANAXIPROBE были обнаружены пять крупных грязевых вулканов в пределах гор Анаксимена, входящих в состав подводных *Анаксимандерских гор* на юго-западном побережье Турции [50] (рис. 3).

В 1996 г. во время экспедиции на НИС “Геленджик” (рейс ТТР-6 по программе ЮНЕСКО-МОК “Плавающий университет”) впервые в Средиземноморье газогидраты были подня-

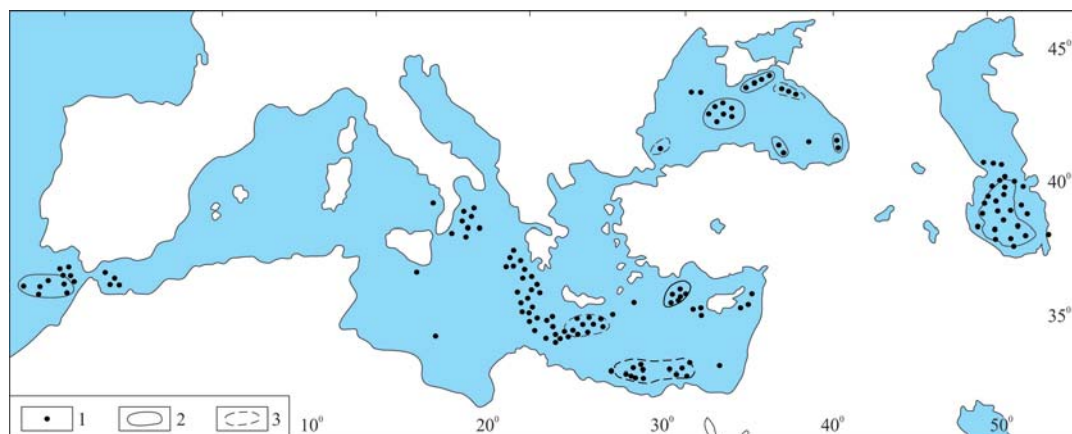


Рис. 1. Ареалы распространения газогидратоносных грязевых вулканов в Средиземном, Черном и Каспийском морях 1 – грязевые вулканы; 2–3 – регионы распространения газогидратов: установленные (2), предполагаемые (3)

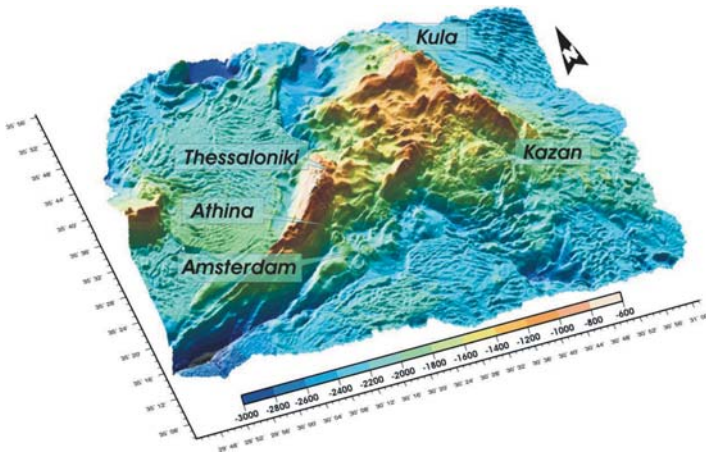


Рис. 3. Газовые вулканы района горы Анаксимена [39]

ты грунтовыми трубками из глинистой брекчии грязевого вулкана Кула (глубина моря 1650 м) [53].

В 1999 г. в этом районе проводились исследования по французско-голландской программе MEDINAUT; на вулкане Амстердам (глубина моря 2025 м), а также вновь на Куле были обнаружены газовые гидраты, представленные изометричными хрупкими агрегатами серого цвета с пористой текстурой и размером от нескольких миллиметров до 2–3 см. Поверхность одного из агрегатов с размерами 7×5×5 см отличалась наличием пустот до 1 см в диаметре [18].

Позже в рамках проектов Европейского Союза (2005–2009 гг.) были изучены газовые гидраты вулканов Амстердам и Казан [52]. На вулкане Амстердам они находились на глубинах 0,3–1,5 м ниже морского дна в виде уплотненных кристаллов диаметром 0,3–8,0 см [39] (фото).

На относительно мелководном (1264 м) вулкане Салоники в поднятых гравитационным пробоотборником кернах газогидратные кристаллы имели форму хлопьев или рисовых зерен. Некоторые их крупные агрегаты имели ширину 2 см. Содержание газогидрата составляло 0,7 % объема керна [51].

В Средиземноморском валу в 1995 году на грязевых вулканах Неаполь и Милано в районе Олимпи было проведено



Фото. Газовые гидраты в кернах, взятых из грязевого вулкана Амстердам [39]

бурение в рамках международной программы глубоководного бурения ODP (Ocean Drilling Program, рейс 160). Впервые были получены данные о внутреннем строении подводных грязевых вулканов. Хотя газовые гидраты не были вскрыты бурением, но на основании гидрохимических данных разгружающегося флюида присутствие их допускалось в верхней части разреза брекчии вулкана Милано до глубины около 40 м, которые экранировали свободный газ [18]. Суммарное количество  $CH_4$  в гидратной фазе и свободном состоянии составляло  $5 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup> [27].

На основе моделирования зоны стабильности газогидратов, допускается их присутствие в большей части Средиземного моря на глубине более 1000 м из-за теплых донных вод (12,5–14 °C) и глубинах 200–500 м в геотермически более холодной восточной части моря [49], в частности в районе подводного конуса р. Нил, где при температуре воды 13 °C гидраты должны быть стабильными на глубине воды ниже 1900 м [38]. Здесь была прослежена граница BSR, уровень которой изменялась в ледниковом и межледниковом временных интервалах [50].

В Черном море газогидраты более широко распространены в его центральной – глубоководной части и прогибе Сорокина (рис. 4). Так, во время экспедиции НИС “Феодосия” (1989 г.) в глубоководной части Черного моря грунто-

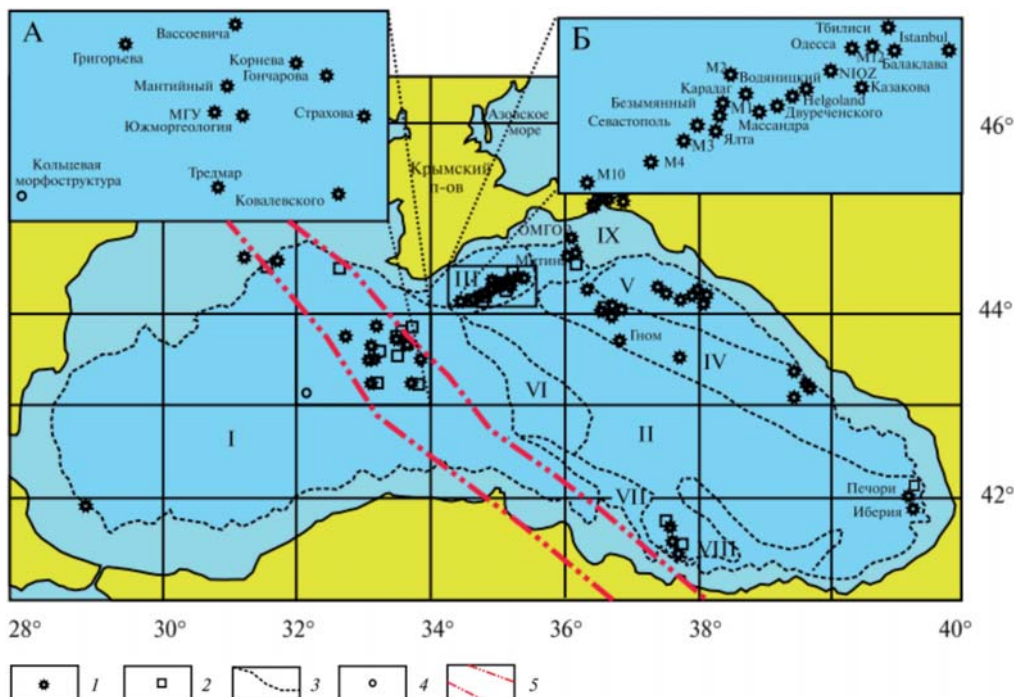


Рис. 4. Распределение грязевых вулканов и газогидратов в Черном море [23]

1 – грязевые вулканы; 2 – газогидраты; 3 – границы тектонических структур: I – Западно-Черноморская впадина, II – Восточно-Черноморская впадина, III – прогиб Сорокина, IV – поднятие Шатского, V – Туапсинский прогиб, VI – хребт Андрусова, VII – хребт Архангельского, VIII – Пирсунская впадина, IX – Керченско-Таманский прогиб; 4 – Кольцевая структура, 5 – границы Одесско-Синопской разломной зоны.

На вставках – расположение грязевых вулканов в Западно-Черноморской впадине (А) и прогибе Сорокина (Б)

носом в глинистых брекчиях грязевого вулкана МГУ были обнаружены газогидраты в виде крупных и мелких кристаллов белого цвета и неправильной формы [15].

В 1989–1991 гг. экспедициями НПО “Южморгеология” и МГУ выполнялись геолого-геофизические исследования газогидратного потенциала Черного моря, в результате которых газогидраты были отобраны с глубин 0,4–2,2 м в грязевых вулканах глубоководной части котловины [3, 15].

В дальнейшем метановые гидраты фиксировались в Сорokinском прогибе во время международных экспедиций НАН Украины, МГУ, НПО “Южморгеология” и Гамбургского университета на НИС-ах “Профессор Водяницкий”, “Метеор”, “Профессор Логачев” и “Геленджик” (1996 г.), ТТН-11 (2001 г.) и GEOMAR (2002 г.) на склонах вулканов: адмирал Митин, Двуреченский, Одесса, Севастополь, Ялта, Ниоз, Гельголад, Казаков, Ковалевский в виде пластинки толщиной 2–3 мм и диаметром более 5 см, а также мелкие (до 1–2 см) изометричные включения [18, 35]. Отсутствие их в жерле вулканов связывалось с высоким значением теплового потока [40].

Во всех кернах, поднятых из Двуреченского вулкана, наблюдались газогидраты в виде мелких изометрических включений размером 1–5 мм, в нескольких случаях до 1 см [25]. Агрегат газогидрата из сопочной брекчии вулкана Одесса имел форму таблитчатого кристалла размером до 4 см [23].

В вулкане Ковалевский газовые гидраты были представлены снежно-белого цвета на изломе изометричными включениями до 4 см в диаметре [18].

В 1992 г. совместной экспедицией НПО “Южморгеология” и Британской нефтяной компании на континентальном склоне северной прибрежной зоны Турции на глубине 2,85 м от поверхности дна в колонке донных отложений, поднятой из грязевого вулкана (глубина 1845 м) в разных интервалах были обнаружены газогидраты. Один образец был представлен мономинеральным газогидратом белого цвета размером 5–7 см [36]. Газогидраты были изучены там же и во время проведения в 2005–2006 гг. исследований по программе METRO немецкими исследователями на НИС “Посейдон”, а также на материковом склоне вблизи берега Грузии [17].

В болгарском секторе Черного моря с использованием BSR отмечены 11 вероятных площадей с газогидратами [4].

Субмаринные газовые гидраты достоверно впервые были обнаружены в 1979 году в Южном Каспии экспедицией ИГиРГИ на НИС “Поиск”; когда с глубины воды 480 м на хребте Шатского дночерпателем были подняты глинистые брекчии (первоначально описанные как отложения), содержащие газовые гидраты до 5 см в поперечнике. Содержание газовых гидратов в брекчии визуально было оценено в 5–10 % от ее общего объема [13].

После этого Институт геологии АН Азербайджана и ВНИИ Океангеологии в 1986 и 1988 гг. на НИС “Элм” были проведены экспедиционные исследования на участках вероятного развития по данным эхолотирования и сейсмоакустического профилирования подводных грязевых вулканов в глубоководной части Южного Каспия. На глубинах моря 475, 660 и 600 м грунтовыми пробоотборниками были подняты газогидратные скопления из кратеров грязевых вулканов названных соответственно Буздаг (Ледяная гора), Элм (Наука) и Абих [5, 10] (рис. 5).

Газовые гидраты на Буздаге были представлены в брекчии в виде льдоподобных полупрозрачных включений раз-

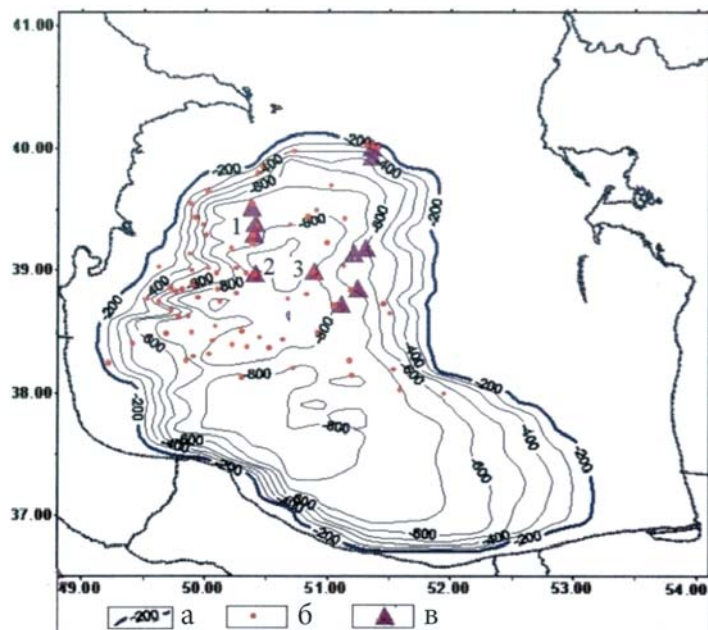


Рис. 5. Схема размещения газогидратных скоплений в Южном Каспии [45]

а – изобаты, м; б – грязевые вулканы; в – грязевые вулканы, содержащие газогидраты: 1 – Буздаг, 2 – Элм, 3 – Абиха

личной формы (часто пластинчатые) и размера (до 12×5 см при толщине несколько миллиметров). Наблюдались также агрегаты и мелкие игольчатые вкрапления. На поверхности крупных включений отмечались зеленовато-желтые пленки нефти. Содержание гидратов во всех 16-ти поднятых грунтовых колонках из глубин до 1,5 м по объему варьировало от 5 до 35 % с характерным запахом сероводорода.

На вулкане Элм содержание газовых гидратов в брекчии в виде пластинок размером до 5×2 см при толщине до 2–3 мм по визуальной оценке составляло 15–20 %, при весовой влажности 38,3 %. Была также отмечена неравномерность распределения газовых гидратов по разрезу.

Керн поднятый из грязевого вулкана на валу Абиха сильно газировал и содержал минерализованную воду с хлорностью до 50 г/л [5].

В дальнейшем нефтяные компании, работающие в Азербайджане, выявили более 10 газогидратных проявлений, связанных с грязевым вулканизмом. Предполагалось также наличие около 60 таких скоплений ниже изобаты 250 м. Все это позволило отнести южную часть Каспийского моря к крупной газогидратоносной подводно-грязевулканической провинции площадью 20 км<sup>2</sup> [5].

#### Газогидратообразующие флюиды

При разгрузке флюидов через жерла подводных грязевых вулканов, в отличие от очагов разгрузки свободного газа и газонасыщенной воды на дне, газогидронакопление происходит за счет двухфазной (вода, газ) фильтрации при соответствующих температуре и давлении. Вода, поступающая в зону гидратообразования, несет с собой водорастворенный газ [18]. И гидраты выпадают из фильтрующихся газонасыщенных вод. Чем больше содержание газовых гидратов в породе, тем больше их водосодержание, а влажность безгидратной грязевулканической брекчии всегда меньше влажности гидратосодержащих пород. На этом основании считается, что газогидратообразующая вода поступает в очаги формирования газовых гидратов извне. В свою очередь, во-

досодержание глинистой брекчии значительно меньше, чем у стратифицированных отложений. Если весовая влажность последних достигает 60 %, то влажность газогидратоносных отложений не превышает 44,2 % [7].

Исследование составов разгружающегося флюида позволило предположить о различной природе газогидратоформирующих компонентов – воды и газа.

Хлорность поровой воды как показатель гидросодержания отложений [34] получила свое подтверждение и на примере изучения вод из гидратоносной грязевулканической глинистой брекчии. Была установлена взаимозависимость между изотопным составом водорода и кислорода воды с хлорностью: с уменьшением хлорности (иначе с увеличением гидратосодержания отложений) водород утяжеляется, а кислород становится легче или же наоборот [7, 18].

Как правило, газогидратообразующие грязевулканические флюиды отличались пониженными значениями (0,001 и ниже) отношения содержаний ионов магния и хлора (Mg/Cl) [18].

Газогидратосодержащие отложения, вскрытые на грязевых вулканах Гинсбург и Бонжардим *залива Кадис*, характеризовались аномально низкими значениями хлорид-ионов – до 450 и 400 мМ соответственно. Уменьшение хлорности на 10–15 мг-экв/л от фоновых значений наблюдалось и по всей длине колонки, отобранной на вулкане Капитан Арутюнов [2].

Изотопный состав воды газогидрата вулкана Гинсбург по кислороду высокий (+9 ‰), а по водороду низкий (–22 ‰) [18].

Газогидратообразующие грязевулканические флюиды *Восточного Средиземноморья* отличаются высокой степенью минерализации. Наблюдалось увеличение солёности и соответственно хлорности с глубиной. Поровая вода из кернов, поднятых с вершин вулканов и средней части склона, напротив, оказалась существенно опресненной (содержание хлор-иона составило около 60 мМ) по сравнению с морской водой (350 мМ) [18].

В Амстердамском вулкане перенасыщение метаном, высокое гидростатическое давление и повышенная влагонасыщенность пор, вызванная низкой минерализацией, – все это способствовало образованию повышенной пропорции легких углеводородов в гидратах даже на вершине вулкана [48].

Результаты исследований в прогибе Сорокина *Черного моря* показали наличие в этом районе грязевулканических флюидов с существенно более высоким содержанием солей [32]. Содержание хлор-иона грязевулканических флюидов в центральной части Черного моря варьирует с глубиной, что, возможно, связано с изменением содержания газовых гидратов по разрезу [18].

В *Каспийском море* грязевулканические флюиды также отличаются высокой минерализацией. Так, в пробах вод, полученных от агрегатов газовых гидратов глинистых брекчий вулкана Буздаг, хлорность изменялась в диапазоне 7,08–13,41 г/л, а солёность – от 13,7 до 23,2 г/л. Ввиду того, что на вулкане Буздаг воды, отжатые из гидратосодержащей глинистой брекчии, содержали больше хлора, в пределах 10,60–41,06 г/л, а в морской придонной воде – 5,41–5,45 г/л, предполагается, что в их образовании принимала участие не морская, а грязевулканическая вода. Так как сильно минерализованная поровая вода из газогидратоносных кернов содержала примесь пресной воды из разложившихся газовых гидратов, предполагается, что минерализация исходного грязевулканического флюида, участвующего в газогидратообразовании, достигает величины более 72 г/л, а хлорность – >41 г/л [8].

Изотопы кислорода ( $\delta^{18}O$ ) газогидратообразующей воды составляли -0,7–+2,5 ‰, а водорода ( $\delta D$ ) – -16–-41 ‰ [7].

Следует отметить, что в процессе гидратообразования происходит фракционирование компонентного состава газа и его изотопов. В результате гидратный газ при определенных условиях обогащается тяжелыми углеводородами, что подтверждается фактическими данными.

В составе газа, полученного из гидратов грязевого вулкана Гинсбург *залива Кадис*, установлено повышенное содержание метана (81 % объема) и его гомологов (19 % объема), особенно этана и пропана (9,5 % и более чем 6 % соответственно). В составе газа были определены изобутан (2,32 %), н. бутан (0,48 %), изопентан (0,22 %) и н. пентан (0,05 %) [42].

В пределах Анаксимандерских гор, в зоне расположения самых активных грязевых вулканов *Восточного Средиземноморья*, в семи пробах газогидратов Амстердамского вулкана содержание (в процентах) метана составляло 94,21–98,77, этана – 1,23–4,68, пропана – 0,20–1,58, изобутана – 0,07–0,50. Изотопный состав углерода метана варьировал от -50,4 до -50,7 ‰, этана – от -30,6 до -32,7 ‰ [47].

Газовые гидраты из грязевых вулканов МГУ, Страхова и Безымянный глубоководной центральной части *Черного моря* характеризуются содержанием метана 93,7–95,7 % и его гомологов – 4,3–6,7 % [3]. В более поздних исследованиях в составе газов этих же вулканов, кроме метана, были установлены также азот (0,7–1,8 %), CO<sub>2</sub> (0,85 %) и H<sub>2</sub>S (0,25 %) [23], изотопный состав углерода CH<sub>4</sub> от -61,80 до -63,55 ‰ [17].

В Сорокинском прогибе газогидратообразующий газ Двуреченского вулкана состоял из метана (99,5–99,7 %), с низким содержанием этана и пропана (менее 0,5 %). Изотоп углерода метана в пределах -62–-66 ‰, углекислого газа – -25,5 ‰ [24].

В газогидратах вулкана Гельголанд CH<sub>4</sub> составлял 99,66 %, CO<sub>2</sub> – 0,29–0,31 %, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> – 0,03 %, отмечались следы пропана. Углеводородная часть газогидратов грязевого вулкана Печоры у берегов Грузии состояла из метана – 87,50–89,48 %, этана – 0,01–0,43 %, пропана – около 0,01 %. CO<sub>2</sub> составлял – 10,39–12,1 % [9].

Таким образом, основным компонентом газов гидратов Черного моря является метан с небольшой примесью этана и пропана.

Газы гидратоносных пород *Южного Каспия* имеют углеводородный состав и отличаются от газов наземных вулканов [14] высоким содержанием гомологов метана, особенно этана (таблица).

Следует отметить, что газы гидратов изученных грязевых вулканов отличаются по химическому и изотопному составу. Так, в составе газа вулкана Буздаг содержание тяже-

Грязевой вулкан		Буздаг	Элм	Абиха
Химический состав, об. %	CH <sub>4</sub>	58,7–87,0	95,3	86,6
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	10,4–19,4	0,6	10,0
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,3–5,8	1,5	2,1
	i C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1–2,5	1,7	0,2
	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,4–2,0	н. о.	0,2
	C <sub>3</sub> H <sub>12</sub>	0,02–0,68	0,01	0,4
	CO <sub>2</sub>	0,45–3,60	0,9	н. о.
Изотопный состав углерода, ‰	CH <sub>4</sub>	-44,8	-55,3–-57,3	не определен
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-25,8–-26,0	-25,7–-28,4	
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-22,1–-22,3	-7,3–-8,4	
	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-20,9–-21,0	-29,4–-32,3	

Таблица. Химический и изотопный состав газов гидратов

лых углеводородов доходит до 22,43 %, тогда как на вулканах Элм и Абиха – 18,6 и 12,9 % соответственно. Изотоп  $\text{CH}_4$  гидратного газа вулкана Буздаг более тяжелый (-44,8 ‰), чем вулкана Элм (-57,3 ‰), а изотоп этана гидрата Элм более тяжелый (-28,4 ‰) [7].

#### Источники и глубины распространения газогидратов

Высокая концентрация тяжелых углеводородов в грязевых вулканах залива Кадиса свидетельствует о катагенетической природе гидратообразующего газа [42].

Отношение  $\text{C}_1/\text{C}_2$  (+ <50), значения  $\delta^{13}\text{C}$  метана и этана, а также  $\delta\text{D}-\text{CH}_4$  указывают преимущественно на термокаталитическое происхождение углеводородов газогидратов Амстердамского вулкана [48]. На этом же вулкане нижняя граница BSR идентифицирована около 50–80 м ниже морского дна [39].

Газовые гидраты на вулкане Салоники, где температура на дне моря составляет 13,7 °С, а давление – 12,9 МПа, находятся в пределах их верхней зоны стабильности, которая соответствует глубине  $1000 \pm 100$  м [50] и имеет тенденцию к разложению при повышении температуры воды на дне моря или уменьшении давления на вулкане [51].

В Черном море нижняя граница зоны стабильности по геотермическим данным соответствует глубинам от 400–500 м до 800–1000 м ниже дна моря, стратифицированные как четвертичные и неогеновые отложения [16]. Суммарные запасы газа в составе газогидратов оценены в 20–25 трлн  $\text{м}^3$  [10], а по другим оценкам – 42–49 трлн  $\text{м}^3$  [4].

Изотопный состав углерода метана констатирует биогенное происхождение газов гидрата с примесью термогенного газа [24] или же смешанное (биогенное и термокаталитическое) [6].

В Южном Каспии высокое содержание гомологов метана ( $\geq 12,2$  %) свидетельствует о катагенетической природе газа, что подтверждается и изотопным составом углерода метана в гидратных газах [7].

По результатам геотермических измерений температура придонной воды в кратерном поле вулканов Буздаг и Элм ( $\sim 6^\circ$ ) и градиент температуры на этих вулканах: более 1 °С/м и 0,23–0,35 °С/м соответственно, предполагается, что гидратоносная зона находится в пределах первых десятков метров ниже дна моря [7].

Расчетная зрелость этана газогидратов, вычисленная по зависимости  $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_2\text{H}_6} - \text{Ro}$ , составила 1,47–1,94 ‰, что соответствует глубинам более 10 км – стратиграфической приуроченности очагов генерации газов к миоцен-палеогеновым отложениям [19].

На основе анализа термобарической модели предполагаемая мощность газогидратосодержащих отложений на структуре Абшерон Южного Каспия составляет порядка 1350 м [29]. По термобарическим параметрам наличие газогидратов в осадочной толще Южного Каспия прогнозируется до глубин 3000 м, при глубине моря – 1000 м [45].

По мнению Е. Ф. Шнюкова [20], осадки, содержащие газогидраты, образуют непроницаемую толщу для восходящей миграции метана, ниже которой располагаются газовые скопления, имеющие глубинную подпитку.

#### Газовые факелы (сипы) и покмарки

О газонасыщенности недр свидетельствуют и газовые факелы (названы из-за формы, напоминающей факелы) или сипы (в переводе с английского – газовые высачивания) в виде не-

прерывных или же пульсирующих пузырьковых струй, установленные исключительно в Черном море.

По составу газы факелов преимущественно метановые, с примесью гомологов метана, азота, углекислого газа, водорода и следов сероводорода. Они локализованы по периферии моря на глубине 50–800 м. Высота их составляет 100–200 м, подавляющее большинство которых, не достигая поверхности воды, диффузно распыляется [12]. Около 68 % струйных газовыделений расположены до глубин 250 м. Площадки газовыделений были обнаружены и на глубине 900–1000 м, а также более 1800 м. Максимальный расход отдельных струй метана может достигать 26 800  $\text{м}^3$  в год. Общее число сипов в Черном море превышает 3 000 [12].

Крупные газовые факелы отмечены в северо-западной части Черного моря, в зоне перехода от внешнего шельфа к верхней части континентального склона, где находятся погребенные палеоруслы и приустьевые зоны рек Дунай, Днепр, Дон и Чорох, приуроченные к разломам земной коры. Такие же факелы, но в меньшем количестве, были зафиксированы и в других зонах Черного моря [21].

В глубоководной части Черного моря струйные газовыделения приурочены, в основном, к районам активного развития грязевого вулканизма и диапиризма.

Летом 2002 г. в кратере Двуреченского вулкана наблюдались два мощных газовых факела диаметром до 400 м и высотой 850 м над уровнем дна моря при глубине 2000 м. В июле 2003 г. здесь вновь наблюдался газовый факел высотой 800 м (рис. 6) [33], тем самым подтвердив периодическую активность вулкана. Замеры скоростей подъема пузырьков газа показали, что у морского дна она равна 19–22 см/сек, а в самой верхней части факела – 12–12 см/сек.

Газовые вспышки высотой 1300 м имели место одновременно на вулканах Двуреченский, Безымянный и Водяницкого на глубине 2080 м.

В качестве исходного материала для формирования газовых факелов указаны газовые скопления в отложениях майкопской серии. В то же время предпочтения даются глубинной подпитке, за счет притока углеводородов из фундамента, к которому склоняется большинство исследователей. Это, в частности, подтверждается наблюдением газовых сипов над кристаллическими породами Ломоносовского подводного массива, располагающегося к юго-западу от Севастополя, на континентальном склоне, на продолжении орогенных структур Горного Крыма [21].

По газонасыщенности Черное море намного превосходит остальные водоемы нашей планеты. По приблизительным оценкам в его водной толще содержится около 80 млрд  $\text{м}^3$  метана. Время существования газовых факелов за новейший

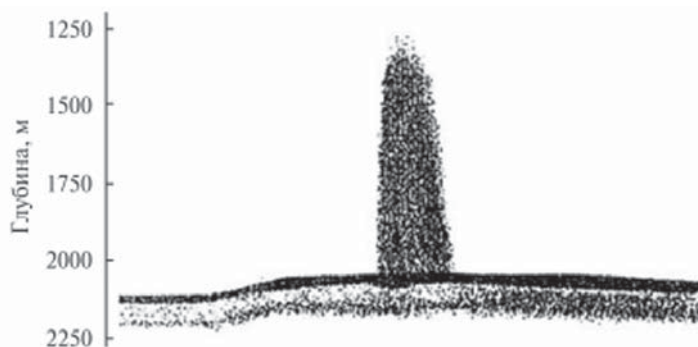


Рис. 6. Эхограмма газового фонтана на грязевом вулкане Двуреченском [22]

период определялось по высоте карбонатных построек, образованных вследствие функционирования газовых факелов, и, судя по их высоте, допускается, что газовые факелы в Черном море существуют уже десятки тысяч лет [21].

С газонасыщенностью разреза отложений морского дна связаны газовые воронки – **покмарки** (от англ. rockmark – оспина, выбоина) (рис. 7).

Они представляют собой округлые конусовидные углубления в рельефе дна диаметром от одного до несколько сотен метров и глубиной от 1 до 10 м и более, характеризующиеся эпизодически активизирующимися выходами газа. Многочисленные (более 300) покмарки установлены в Кадисском заливе, западной части Альборанского [52] и северной части Эгейского [47] морей, на Средиземноморском валу, Анаксимандерских горах, на вершине подводного хребта Эратосфен [31], в юго-восточной части Черного моря [30], на континентальном склоне Египта [41], у берегов юго-восточной Турции [26]. Их наличие по геофизическим данным предполагается также в глубоководном конусе выноса реки Нил [38]. Как считают исследователи, покмарки расположены в основном между грязевыми вулканами и связаны с флюидами приповерхностных пластов-коллекторов или же более глубоких горизонтов.

Допускается наличие газовых факелов в водной толще и покмарков на дне Южного Каспия. В отличие от Черного моря, подобные исследования в Южном Каспии не проводились. Основное внимание было направлено на выяснение глубинного строения дна с целью выявления благоприятных нефтегазоносных структур. Надо полагать, что с помощью современных гидроакустических систем или же подводных обитаемых аппаратов, такие же газовые факелы и покмарки могут быть открыты в водной толще и на дне Южного Каспия.

**Выводы**

1. Установлена различная степень изученности газогидратов Средиземного, Черного и Каспийского морей, преимущественно одинаковый углеводородный состав газа, с преобладанием тяжелых углеводородов.
2. Газогидраты, как правило, приурочены к активным грязевым вулканам.
3. Грязевулканические флюиды являются основным источником воды и газа для образования газогидратов.
4. Анализ химического и изотопного состава газов гидратов грязевых вулканов изученных морей свидетельствует об их смешанном – биогенном и термогенном происхождении.

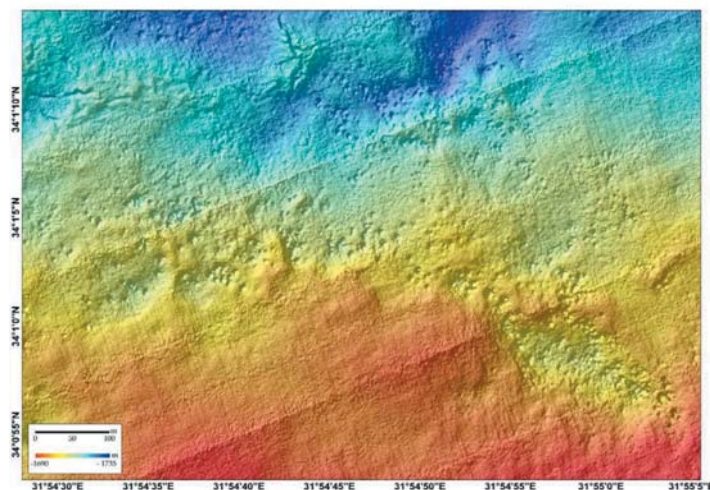


Рис. 7. Покмарки на континентальном склоне Египта [41]

5. Источником гидратных газов, струйных газопроявлений, газовых факелов являются глубинные потоки флюидов.

6. Высоко оценивается роль газогидратных скоплений, связанных с грязевым вулканизмом, в приросте газового потенциала недр Черного и Каспийского морей. Поэтому методика их поисков и разведки, технология разработки должны быть одним из важнейших вопросов нефтегазовой геологии.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Алиев Ад. А., Гулиев И. С., Дадашев Ф. Г., Рахманов Р. Р. Атлас грязевых вулканов мира. – Баку: Nafta-Press, Sandro Teti Editore, 2015. – 323 с.
2. Блинова В. Р. Состав и происхождение углеводородных флюидов в грязевых вулканах залива Кадис: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2006. – 24 с.
3. Бяков Ю. А., Круглякова Р. П. Газогидраты осадочной толщи Черного моря – углеводородное сырье будущего//Разведка и охрана недр. – 2001. – № 8. – С. 14–19.
4. Васильев А., Димитров Л. Оценка пространственного распределения и запасов газогидратов в Черном море//Геол. и геофиз. – 2002. – № 7. – С. 672–684.
5. Гинсбург Г. Д., Грамберг И. С., Гулиев И. С. и др. Подводно-грязевулканический тип скоплений газовых гидратов//Докл. АН СССР. – 1988. – Т. 300. – № 2. – С. 416–418.
6. Гинсбург Г. Д., Кремлев А. Н., Григорьев М. Н. и др. Фильтрогенные газовые гидраты в Черном море (21-й рейс НИС “Евпатория”)//Геол. и геофиз. – 1990. – № 3. – С. 10–20.
7. Гинсбург Г. Д., Гусейнов Р. А., Дадашев А. А. и др. Газовые гидраты Южного Каспия//Изв. РАН, сер. геол. – 1992. – № 7. – С. 5–20.
8. Гинсбург Г. Д., Соловьев В. А. Субмаринные газовые гидраты. – С.-Пб.: ВНИИОкеангеология, 1994. – 199 с.
9. Грязевые вулканы Черного моря (каталог). Авторы-сост. Е. Ф. Шнюков, Л. В. Ступина, Е. Н. Рыбак и др. – К.: ГНУ ОМГОР, Логос, 2015. – 259 с.
10. Гусейнов Р. А., Дадашев Ф. Г. Углеводородные газы Каспийского моря. – Баку: Nafta-Press, 2000. – 197 с.
11. Дмитриевский А. Н., Баланюк И. Е. Газогидраты морей и океанов – источник углеводородов будущего. – М.: ООО “ИРЦ Газпром”, 2009. – 416 с.
12. Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль. – Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2011. – 405 с.
13. Ефремова А. Г., Гритчина Н. Д. Газогидраты в морских осадках и проблема их практического использования//Геол. нефти и газа. – 1981. – № 2. – С. 32–35.
14. Кабулова А. Я., Сафарова О. Б., Байрамова С. М. К геохимии газов грязевых вулканов//Докл. АН Азерб. – 1989. – Т. 45. – № 11. – С. 43–46.
15. Конюхов А. И., Иванов М. К., Кульницкий Л. М. О грязевых вулканах и газогидратах в глубоководных районах Черного моря//Литол. и полезн. ископ. – 1990. – № 3. – С. 12–23.
16. Корсаков О. Д., Бяков Ю. А., Ступак С. Н. Газовые гидраты Черноморской впадины//Сов. геол. – 1988. – № 12. – С. 3–10.
17. Круглякова Р. П., Круглякова М. В., Шевцова Н. Т. Геолого-геохимическая характеристика естественных проявлений углеводородов в Черном море//Геол. и полезн. ископ. Мирового океана. – 2009. – № 1. – С. 27–51.
18. Мазуренко Л. Л. Газогидратообразование в очагах разгрузки флюидов: дис. ... канд-та геол.-минерал. наук. – С.-Пб., 2004. – 204 с.
19. Фейзуллаев А. А., Мурадов Ч. С., Дадашев А. А. Глубина формирования газов гидратов морских грязевых вулканов//Мат-лы III Межд. конф. “Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Нефтегазоносные бассейны как саморазвивающиеся нелинейные системы”. – М.: МГУ, 1999. – С. 276–277.
20. Шнюков Е. Ф. Газогидраты метана в Черном море//Геол. и полезн. ископ. Мирового океана. – 2005. – № 2. – С. 41–52.
21. Шнюков Е. Ф., Коболев В. П., Пасынков А. А. Газовый вулканизм Черного моря. – К.: Логос, 2013. – 384 с.
22. Шнюков Е. Ф. Грязевые вулканы Черного моря как поисковый критерий газогидратов. – Киев: Lambert Academic Publishing, 2017. – 48 с.

23. Шнюков Е. Ф., Коболев В. П. Грязевулканические залежи газогидратов метана в Черном море//Геол. и полез. ископ. Мирового океана. – 2018. – № 1. – С. 5–34.
24. Blinova V. N., Ivanov M. K., Bohrmann G. Hydrocarbon gases in deposits from mud volcanoes in the Sorokin Trough, north-eastern Black Sea//Geo-Mar. Lett. – 2003. – Vol. 3. – P. 250–257.
25. Bohrmann G., Ivanov M., Foucher J. P. et al. Mud volcanoes and gas hydrates in the Black Sea: new data from Dvurechenskii and Odessa mud volcanoes//Geo-Mar. Lett. – 2003. – Vol. 23. – P. 239–249.
26. Cifçi G., Dondurur D., Ergün M. Deep and shallow structures of large pockmarks in the Turkish shelf, Eastern Black Sea//Geo-Mar. Lett. – 2003. – Vol. 23. – Iss. 3–4. – P. 311–322.
27. De Lange G. J., Brumsack H. J. The occurrence of gas hydrates in Eastern Mediterranean mud dome structures as indicated by pore-water composition/Henriet, J.-P. & Mienert, J. (eds) Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change. Geol. Soc., London, Special Publ. – 1998. – Vol. 137. – P. 167–175.
28. Depreiter D., Poort J., Van Rensbergen P., Henriët J. P. Geophysical evidence of gas hydrates in shallow submarine mud volcanoes on the Moroccan margin//Jour. Geoph. Research. – 2005. – Vol. 110. – B10103, doi:10.1029/2005JB003622, 2005. – 9 p.
29. Diaconescu C. C., Kieckhefer R. M., Knapp J. H. Geophysical evidence for gas hydrates in the deep water of the South Caspian Basin, Azerbaijan//Mar. Petr. Geol. – 2001. – Vol. 18. – P. 209–221.
30. Dimitrov L., Dontcheva V. Seabed pockmarks in the southern Bulgarian Black Sea zone//Bull. Geol. Soc. Denmark. – 1994. – Vol. 41. – P. 24–33.
31. Dimitrov L., Woodside J. Deep sea pockmark environments in the eastern Mediterranean//Mar. Geol. – 2003. – Vol. 195. – P. 263–276.
32. Drews M., Domeyer B., Nab K. Pore-water chemistry. Geological sampling and results. Bohrmann G. and Schenck S. (Eds.) Marine Gas Hydrates of the Black Sea. RV Meteor Cruise Report M52/1 MARGASCH. GEOMAR Report 108, Kiel, 2002. – P. 120–127.
33. Greinert J., Artemov Y., Egorov V. et al. 1300-m-high bubbles from mud volcanoes at 2080 m in the Black Sea: Hydro acoustic characteristics and temporal variability//Earth and Planetary Sci. Lett. – 2006. – V. 244. – P. 1–15.
34. Hense R., Harrison W. E. Gas hydrates (clathrates) causing porewater freshening and oxygen isotope fractionation in deepwater sedimentary sections of terrigenous continental margins//Earth and Planetary Sci. Lett. – 1981. – V. 55. – P. 453–462.
35. Ivanov M. K., Limonov A. F., Woodside J. M. Extensive deep fluid flux through the sea floor on the Crimean continental margin (Black Sea)/Henriet, J.-P. & Mienert, J. (eds) Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change. Geol. Soc. London, Special Publ. – 1998. – Vol. 137. – P. 195–213.
36. Kruglyakova R. P., Byakov Y. A., Kruglyakova M. V. et al. Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor//Geo-Mar. Lett. – 2004. – Vol. 24. – Iss. 3. – P. 150–162.
37. Leon R., Somoza L., Medialdea T. et al. New discoveries of mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cadiz): morpho-structural characterization//Geo-Mar. Lett. – 2012. – Vol. 32. – Iss. 5–6. – P. 473–488.
38. Loncke L., Mascle J. Famil Scientific Parties. Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences//Mar. Petrol. Geol. – 2004. – Vol. 21. – P. 669–689.
39. Lykousis V., Alexandri S., Woodside J. et al. Mud volcanoes and gas hydrates in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean Sea)//Mar. Petr. Geol. – 2009. – Vol. 2. – P. 854–872.
40. Marine gas hydrates of the Black Sea (MARGASCH). RV Meteor Cruise M52/1. GEOMAR report. Kiel. 2002. – 192 p.
41. Mascle J., Mary F., Praeg D. et al. Distribution and geological control of mud volcanoes and other fluid free gas seepage features in the Mediterranean Sea and nearby Gulf of Cadiz//Geo-Mar. Lett. – 2014. – Vol. 34. – Iss. 2–3. – P. 89–110.
42. Mazurenko L. L., Soloviev V. A., Belenkaya I. et al. Mud volcano gas hydrates in the Gulf of Cadiz//Terra Nova. – 2002. – Vol. 14. – No 5. – P. 321–329.
43. Mazurenko L. L., Soloviev V. A., Gardner J. M., Ivanov M. K. Gas hydrates in the Ginsburg and Yuma mud volcano sediments (Moroccan Margin): results of chemical and isotopic studies of pore water//Mar. Geol. – 2003. – Vol. 195. – P. 201–210.
44. Miero C. L., Pato P., Pereira E. et al. Total mercury in sediments from mud volcanoes in Gulf of Cadiz//Mar. Poll. Bull. – 2007. – Vol. 54. – No 9. – P. 1539–1544.
45. Muradov Ch. S. The area of formation of the South Caspian gas hydrates. South-Caspian basin: geology, geophysics, oil and gas content. – Baku: Nafta-Press, 2004. – P. 322–332.
46. Nuzzo M., Hornibrook E., Fiona G. et al. Origin of light volatile hydrocarbon gases in mud volcano fluids, Gulf of Cadiz – Evidence for multiple sources and transport mechanisms in active sedimentary wedges//Chem. Geol. – 200. – Vol. 266. – Iss. 3–4. – P. 359–372.
47. Newton R. S., Cunningham R. C., Schubert C. E. Mud volcanoes and pockmarks: Seafloor engineering hazards or geological curiosities? 12<sup>th</sup> Annual Offshore Technology Conference, Houston, May, 5–8, 1980. – P. 425–429.
48. Pape T., Kasten S., Zabel M. et al. Gas hydrates in shallow deposits of the Amsterdam mud volcano, Anaximander Mountains Northeastern Mediterranean Sea//Geo-Mar. Lett. – 2010. – V. 30. – P. 187–206.
49. Pinheiro L. M., Ivanov M. K., Sautkin A. et al. Mud volcanism in the Gulf of Cadiz: results from the TTR-10 cruise//Mar.-Geol. – 2003. – Vol. 195. – P. 131–151.
50. Praeg D., Geletti R., Wardell N. The Mediterranean sea: A natural laboratory to study gas hydrate dynamics?//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates. Edinburgh: Scotland, United Kingdom, July 17–21, 2011.
51. Perissoratis C., Ioakim Chr., Alexandri S. et al. Thessaloniki mud volcano, the shallowest gas hydrate-bearing mud volcano in the Anaximander Mountains, Eastern Mediterranean//Jour. Geol. Res. – 2011, Article ID 247883. – 11 p.
52. Somoza L., Medialdea T., Leon R. et al. Structure of mud volcano systems and pockmarks in the region of the Ceuta Contourite depositional system (Western Alboran Sea)//Mar. Geol. – 2012. – Vol. 332–334. – P. 4–26.
53. Woodside, J. M., Ivanov M. K., Limonov A. F. Neotectonics and fluid flow trough sea floor in the eastern Mediterranean and Black Seas. In: Preliminary results of geological and geophysical investigations during the ANAXIPROBE/TTR6 cruise of R/V Gelendzhik (July–August, 1996), Vol. 2, Intergovernmental Oceanographic commission Reports, Technical series, 48, UNESCO, 1997.

## REFERENCES

1. Aliyev Ad. A., Guliyev I. S., Dadashov F. G., Rahmanov R. R. Atlas of the world mud volcanoes. – Baku: Publ.house Nafta-Press, Sandro Teti Editore, 2015. – 321 p. (In Russian).
2. Blinova V. R. Composition and origin of hydrocarbon fluids in mud volcanoes of the Bay of Cadiz: abstract. theses ... candidate of geol. and mineral. sciences. – M., 2006. – 24 p. (In Russian).
3. Byakov Yu. A., Kruglyakova R. P. Gas hydrates of the sedimentary sequence of the Black Sea – the hydrocarbon feedstock of the future//Prosp. Protec. Mineral Res. – 2001. – No 8. – P. 14–19. (In Russian).
4. Vasilev A., Dimitrov L. Assessment of the spatial distribution and reserves of gas hydrates in the Black Sea//Geol. and Geophysics. – 2002. – No 7. – P. 672–684. (In Russian).
5. Ginsburg G. D., Gramberg I. S., Guliev I. S. et al. Gas hydrate accumulations of the submarine mud-volcanic type//Reports Acad. Sciences USSR. – 1988. – Vol. 300. – No 2. – P. 416–418. (In Russian).
6. Ginsburg G. D., Kremlev A. N., Grigoriev M. N. et al. Filtrogenic gas hydrates in the Black Sea (the 21 trip of the research ship “Evpatoriya”)//Geol. and Geophysics. – 1990. – Vol. 3. – P. 10–20. (In Russian).
7. Ginsburg G. D., Guseynov R. A., Dadashev A. A. et al. Gaseous hydrates of the Southern Caspian//Proc. Acad. Sci. Geol. ser. – 1992. – No 7. – P. 5–20. (In Russian).
8. Ginsburg G. D., Soloviev V. A. Submarine gas hydrates. – Sankt-Peterburg: VNII Okeanologiiya, 1994. – 199 p. (In Russian).
9. Mud volcanoes of the Black Sea (catalog). E. F. Shnyukov, L. V. Stupina, E. N. Rybak et al. – Kiev: GNU OMGOR, Logos, 2015. – 259 p. (In Russian).
10. Guseynov R. A., Dadashev F. G. Hydrocarbon gases of the Caspian Sea. – Baku: Nafta-Press, 2000. – 197 p. (In Russian).
11. Dmitrievskij A. N., Balanjuk I. E. Gas hydrates of seas and oceans – a hydrocarbon source of the future. – Moskva: IRTC Gazprom LTD, 2009. – 416 p. (In Russian).
12. Egorov V. N., Artemov Yu. G., Gulin S. B. Methane seepages in the Black Sea: environmental and ecological role. – Sevastopol: NPC “EKOSI-Gidrofizika”, 2011. – 405 p. (In Russian).
13. Efremova A. G., Gritchina N. D. Gas hydrates in marine sediments and a problem of their practical application//Geol. Oil and Gas. – 1981. – No 2. – P. 32–35. (In Russian).



14. *Kabulova A. Ya., Safarova O. B., Bajramova S. M.* To the geochemistry of mud volcanoes gases//Reports Acad. Scien. Azerbaijan. – 1989. – Vol. 45. – No 11. – P. 43–46. (In Russian).
15. *Konyukhov A. I., Ivanov M. K., Kulnickij L. M.* About mud volcanoes and gas hydrates in deep-water areas of the Black Sea//Lithol. and minerals. – 1990. – No 3. – C. 12–23. (In Russian).
16. *Korsakov O. D., Byakov Yu. A., Stupak S. N.* Gas hydrates of the Black Sea basin//Soviet geol. – 1988. – No 12. – C. 3–10. (In Russian).
17. *Kruglyakova R. P., Kruglyakova M. V., Shevtsova N. T.* Geological and geochemical characteristics of the natural manifestations of hydrocarbons in the Black Sea//Geol. and mineral resour. World ocean. – 2009. – No 1. – C. 27–51. (In Russian).
18. *Mazurenko L. L.* Gas hydrate formation in the foci of fluid discharge: dissertation ... candidate of geol. and mineral. sciences. – Sankt-Peterburg, 2004. – 204 p. (In Russian).
19. *Fejzullaev A. A., Muradov Ch. S., Dadashev A. A.* Depth of gas formation of hydrates in sea mud volcanoes//Proc. of the III Inter. Conf. “New ideas in geology and geochemistry of oil and gas. Oil and gas basins as self-developing nonlinear systems?” – Moskva: MGU, 1999. – P. 276–277. (In Russian).
20. *Shnjukov E. F.* Methane gas hydrates in the Black Sea//Geol. and mineral resour. World ocean. – 2005. – No 2. – C. 41–52. (In Russian).
21. *Shnjukov E. F., Kobolev V. P., Pasyukov A. A.* Gas volcanism of the Black Sea. – Kiev: Logos, 2013. – 384 p. (In Russian).
22. *Shnjukov E. F.* Mud volcanoes of the Black Sea as a search criterion for gas hydrates. – Kiev: Lambert Academic Publishing, 2017. – 48 p. (In Russian).
23. *Shnjukov E. F., Kobolev V. P.* Mud deposits of methane gashydrates in the Black Sea//Geol. and mineral resour. World ocean. – 2018. – № 1. – P. 5–34. (In Russian).
24. *Blinova V. N., Ivanov M. K., Bohrmann G.* Hydrocarbon gases in deposits from mud volcanoes in the Sorokin Trough, north-eastern Black Sea//Geo-Mar. Lett. – 2003. – Vol. 3. – P. 250–257.
25. *Bohrman G., Ivanov M., Foucher J. P.* et al. Mud volcanoes and gas hydrates in the Black Sea: new data from Dvurechenskii and Odessa mud volcanoes//Geo-Mar. Lett. – 2003. – Vol. 23. – P. 239–249.
26. *Cifçi G., Dondurur D., Ergün M.* Deep and shallow structures of large pockmarks in the Turkish shelf, Eastern Black Sea//Geo-Mar. Lett. – 2003. – Vol. 23. – Iss. 3–4. – P. 311–322.
27. *De Lange G. J., Brumsack H. J.* The occurrence of gas hydrates in Eastern Mediterranean mud dome structures as indicated by pore-water composition/Henriet, J.-P. & Mienert, J. (eds) Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change. Geol. Soc., London, Special Publ. – 1998. – Vol. 137. – P. 167–175.
28. *Depreiter D., Poort J., Van Rensbergen P., Henriët J. P.* Geophysical evidence of gas hydrates in shallow submarine mud volcanoes on the Moroccan margin//Jour. Geoph. Research. – 2005. – Vol. 110. – B10103, doi:10.1029/2005JB003622, 2005. – 9 p.
29. *Diaconescu C. C., Kieckhefer R. M., Knapp J. H.* Geophysical evidence for gas hydrates in the deep water of the South Caspian Basin, Azerbaijan//Mar. Petr. Geol. – 2001. – Vol. 18. – P. 209–221.
30. *Dimitrov L., Doncheva V.* Seabed pockmarks in the southern Bulgarian Black Sea zone//Bull. Geol. Soc. Denmark. – 1994. – Vol. 41. – P. 24–33.
31. *Dimitrov L., Woodside J.* Deep sea pockmark environments in the eastern Mediterranean//Mar. Geol. – 2003. – Vol. 195. – P. 263–276.
32. *Drews M., Domeyer B., Nab K.* Pore-water chemistry. Geological sampling and results. Bohrmann G. and Schenck S. (Eds.) Marine Gas Hydrates of the Black Sea. RV Meteor Cruise Report M52/1 MARGASCH. GEOMAR Report 108, Kiel, 2002. – P. 120–127.
33. *Greiner J., Artemov Y., Egorov V.* et al. 1300-m-high bubbles from mud volcanoes at 2080 m in the Black Sea: Hydro acoustic characteristics and temporal variability//Earth and Planetary Sci. Lett. – 2006. – V. 244. – P. 1–15.
34. *Hense R., Harrison W. E.* Gas hydrates (clathrates) causing pore-water freshening and oxygen isotope fractionation in deepwater sedimentary sections of terrigenous continental margins//Earth and Planetary Sci. Lett. – 1981. – V. 55. – P. 453–462.
35. *Ivanov M. K., Limonov A. F., Woodside J. M.* Extensive deep fluid flux through the sea floor on the Crimean continental margin (Black Sea)/Henriet, J.-P. & Mienert, J. (eds) Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change. Geol. Soc. London, Special Publ. – 1998. – Vol. 137. – P. 195–213.
36. *Kruglyakova R. P., Byakov Y. A., Kruglyakova M. V.* et al. Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor//Geo-Mar. Lett. – 2004. – Vol. 24. – Iss. 3. – P. 150–162.
37. *Leon R., Somoza L., Medialdea T.* et al. New discoveries of mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cadiz): morpho-structural characterization//Geo-Mar. Lett. – 2012. Vol. 32. – Iss. 5–6. – P. 473–488.
38. *Loncke L., Masclé J.* Fanil Scientific Parties. Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences//Mar. Petrol. Geol. – 2004. – Vol. 21. – P. 669–689.
39. *Lykousis V., Alexandri S., Woodside J.* et al. Mud volcanoes and gas hydrates in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean Sea)//Mar. Petr. Geol. – 2009. – Vol. 2. – P. 854–872.
40. Marine gas hydrates of the Black Sea (MARGASCH). RV Meteor Cruise M52/1. GEOMAR report. Kiel, 2002. – 192 p.
41. *Masclé J., Mary F., Praeg D.* et al. Distribution and geological control of mud volcanoes and other fluid free gas seepage features in the Mediterranean Sea and nearby Gulf of Cadiz//Geo-Mar. Lett. – 2014. – Vol. 34. – Iss. 2–3. – P. 89–110.
42. *Mazurenko L. L., Soloviev V. A., Belenkaya I.* et al. Mud volcano gas hydrates in the Gulf of Cadiz/Terra Nova. – 2002. – Vol. 14. – No 5. – P. 321–329.
43. *Mazurenko L. L., Soloviev V. A., Gardner J. M., Ivanov M. K.* Gas hydrates in the Ginsburg and Yuma mud volcano sediments (Moroccan Margin): results of chemical and isotopic studies of pore water//Mar. Geol. – 2003. – Vol. 195. – P. 201–210.
44. *Mieiro C. L., Pato P., Pereira E.* et al. Total mercury in sediments from mud volcanoes in Gulf of Cadiz//Mar. Poll. Bull. – 2007. – Vol. 54. – No 9. – P. 1539–1544.
45. *Muradov Ch. S.* The area of formation of the South Caspian gas hydrates. South-Caspian basin: geology, geophysics, oil and gas content. – Baku: Nafta-Press, 2004. – P. 322–332.
46. *Nuzzo M., Hornibrook E., Fiona G.* et al. Origin of light volatile hydrocarbon gases in mud volcano fluids, Gulf of Cadiz – Evidence for multiple sources and transport mechanisms in active sedimentary wedges//Chem. Geol. – 200. – Vol. 266. – Iss. 3–4. – P. 359–372.
47. *Newton R. S., Cunningham R. C., Schubert C. E.* Mud volcanoes and pockmarks: Seafloor engineering hazards or geological curiosities? 12<sup>th</sup> Annual Offshore Technology Conference, Houston, May, 5–8, 1980. – P. 425–429.
48. *Pape T., Kasten S., Zabel M.* et al. Gas hydrates in shallow deposits of the Amsterdam mud volcano, Anaximander Mountains Northeastern Mediterranean Sea//Geo-Mar. Lett. – 2010. – V. 30. – P. 187–206.
49. *Pinheiro L. M., Ivanov M. K., Sautkin A.* et al. Mud volcanism in the Gulf of Cadiz: results from the TTR-10 cruise//Mar.-Geol. – 2003. – Vol. 195. – P. 131–151.
50. *Praeg D., Geletti R., Wardell N.* The Mediterranean sea: A natural laboratory to study gas hydrate dynamics?//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates. Edinburgh: Scotland, United Kingdom, July 17–21, 2011.
51. *Perissoratis C., Ioakim Chr., Alexandri S.* et al. Thessaloniki mud volcano, the shallowest gas hydrate-bearing mud volcano in the Anaximander Mountains, Eastern Mediterranean//Jour. Geol. Res. – 2011, Article ID 247883. – 11 p.
52. *Somoza L., Medialdea T., Leon R.* et al. Structure of mud volcano systems and pockmarks in the region of the Ceuta Contourite depositional system (Western Alboran Sea)//Mar. Geol. – 2012. – Vol. 332–334. – P. 4–26.
53. *Woodside, J. M., Ivanov M. K., Limonov A. F.* Neotectonics and fluid flow through sea floor in the eastern Mediterranean and Black Seas. In: Preliminary results of geological and geophysical investigations during the ANAXIPROBE/TTR6 cruise of R/V Gelendzhik (July–August, 1996), Vol. 2, Intergovernmental Oceanographic commission Reports, Technical series, 48, UNESCO, 1997.

Рукопис отримано 4.04.2019.

УДК 553.042

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.34-39>

**А. В. БАЛЕГА**, аспірантка (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології"), a\_balega@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-1485-2493>,

**М. М. КУРИЛО**, канд. геол. наук, доцент (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології"), kurilo@mail.univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>

**A. BALEGA**, post-graduate student (Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv), a\_balega@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-1485-2493>,

**M. KURYLO**, Ph. D. in geology, assistant professor (Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv), kurilo@mail.univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>

## ОСОБЛИВОСТІ ФІНАНСУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО ВІВЧЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ

## DOMESTIC PECULIARITIES OF FINANCING AND ORGANIZING GEOLOGICAL RESEARCH OF IRON ORES

У статті визначено, що мінерально-сировинна база (МСБ) залізних руд України характеризується інтенсивним використанням, охоплюючи розвідані і попередньо розвідані запаси, більша частина з яких належить до розподіленого фонду надр.

Виокремлено та згруповано об'єкти обліку (родовища) відповідно до величини запасів і за ознакою залучення до промислового освоєння. Виділено групи родовищ з установленними обсягами запасів до 100 млн т, 100–500 млн т, 500–1000 млн т і понад 1000 млн т.

З'ясовано ступінь забезпеченості запасами залізних руд за даними чинних спеціальних дозволів на користування надрами та проектною продуктивністю з видобутку. Виділено групи родовищ, для яких установлені терміни становлять до 30 років, 30–50 років, 50–100 років і понад 100 років експлуатації.

Визначено, що фінансування геологорозвідувальних робіт (ГРР) на залізні руди в межах чинної Загальнодержавної програми розвитку МСБ до 2030 року забезпечено тільки державним коштом без урахування недержавного фінансування, водночас видобувають цю групу корисних копалин, відповідно до чинних спеціальних дозволів, лише недержавні компанії.

Задля виявлення оптимального розподілу фінансування ГРР за стадіями проведено зіставлення показників фінансування за Програмою до 2030 року з розподілом основних геологічних ризиків і загальних ризиків гірничого бізнесу.

**Ключові слова:** стадії геологорозвідувальних робіт, геологічні ризики, ризики гірничого бізнесу, залізні руди, державне фінансування, приріст запасів.

**Постановка проблеми.** Розвиток чорної металургії України впродовж останніх років має стратегічне значення з огляду на її потенціал як ключового сектору внутрішнього виробництва. Місце залізних руд неможливо переоцінити, цей вид сировини станом на січень-лютий 2019 року забезпечує 35,6 % обсягу реалізованої продукції в межах добувної промисловості та 5,7 % від загального обсягу промислового обороту. Зауважимо, що 57,6 % від обсягу продукції залізних руд експортують, що становить 93,5 % валютної виручки від реалізації в межах добувної промисловості та 13,1 % від загального обсягу реалізованої промислової продукції [6]. Тобто опосередковано експортний потенціал металургійної галузі

The mineral base of iron ores is characterized by intensive use and includes explored and pre-explored reserves, most of which belong to a distributed sub-surface fund.

The objects of accounting (deposits) are grouped according to the size of stocks and on the basis of involvement in industrial development. The allocated groups of deposits, for which the volumes of reserves are set, make up 100 million tons, 100–500 million tons, 500–1000 million tons, and more than 1000 million tons. The grouping of reserves of iron ore deposits by size allows us to state that about 80 % of the reserves of iron ores for the developed deposits are provided with reserves of 500 million tons, and more, which confirms the average level of their exhaustion.

The degree of provision of iron ore reserves according to the existing special permits for the use of subsoil and project output for production was introduced. Groups of fields for which the terms are set are up to 30 years, 30–50 years, 50–100 years and over 100 years.

It has been determined that financing of exploration works (GAR) for iron ores in the framework of the current National Program for the Development of the Mineral Base of Ukraine until 2030 is provided exclusively at state cost and non-state funding is not taken into account.

In order to identify the optimal distribution of financing for exploration works by stages, comparison of funding rates under the Program up to 2030 with the distribution of the main geological risks and general risks of mining business has been made.

At the stage of search and search-and-appraisal, a high level of geological risks of 50 % and mining risks in 70 % is accompanied by public funding for iron ore and reaches a critical value of 80 % with a similar indicator for the entire program at 65,7 %. The level of financing of the III stage of exploration for iron ore accounts for 20 % of the total volume, with a rather low level of geological risks of 10 % and mining risks at 10 %, respectively.

**Keywords:** stages of geological exploration, geological risks, mining business risks, iron ore, minerals, state financing, stock growth.

впливає на валютний баланс і як наслідок – на коливання курсу національної валюти та сталий розвиток України загалом.

Усього в Україні нараховують 60 родовищ залізних руд, з яких 25 перебувають в експлуатації. Багаті залізні руди і залістисті кварцити добувають на родовищах Криворізького, Кременчуцького та Білозерського залізородних басейнів. Розвідані (підтверджені) запаси становлять 27 млрд т. Попри великі запаси та ресурси, держава має певні проблеми із забезпеченням гірничодобувних підприємств якісними залізними рудами. Зазначимо, що ресурси багатих руд у межах рудних полів гірничодобувних підприємств Кривбасу на приїнятих глибинах (800–1000 м) – обмежені. Економічна доцільність розроблення багатих руд на більших глибинах не визначена [2, 7].

Проблеми організації та фінансування геологорозвідувальних робіт є актуальними для вітчизняних добувних підприємств з огляду на ступінь вивчення й виснаження наявних запасів і термінів забезпеченості ними. Фінансування ГРР на залізні руди Програмою розвитку МСБ до 2030 року передбачено лише коштом держави, водночас видобуток, відповідно до чинних спеціальних дозволів, здійснюють тільки недержавні компанії. Зважаючи на інтенсивне використання наявних розвіданих запасів, варто аналізувати дійсні й планові показники погашення та приросту запасів залізних руд задля недопущення виснаженості запасів певних родовищ і запровадити механізм недержавного фінансування ГРР на залізні руди.

**Метою дослідження** є визначення термінів забезпеченості запасами промислових категорій залізрудних підприємств, що працюють, аналіз системи фінансування геологічного вивчення надр відповідно до стадій геологорозвідувальних робіт з метою дорозвідки запасів, прогнозування оптимальних показників приросту для забезпечення ефективної і безпечної роботи гірничозбагачувальних комбінатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вітчизняний і міжнародний досвід організації та фінансового забезпечення проведення всіх стадій ГРР як державними підприємствами, так і приватними недержавними компаніями висвітлений у працях М. Жикаляка, О. Амоши, І. Андрієвського, О. Боброва, Ж. Варє, С. Кімельмана, М. Колесника, М. Красножона, Б. Малука, В. Міщенко та інших. На сторінках публікацій автори зауважують про те, що держава через низку об'єктивних причин зазвичай менш якісно та ефективно проводить ГРР, ніж недержавні компанії. На сьогодні державні геологічні підприємства з досить високим рівнем кваліфікації працівників не можуть достойно конкурувати з геологічними підприємствами недержавної форми власності щодо отримання якісного «геологічного продукту» з огляду на рівень оснащення устаткуванням і сучасними інструментами недешевого програмного забезпечення. Унаслідок учені пропонують частково відмовитися від бюджетного фінансування геологорозвідувальних робіт, обмежившись регіональними геологічними, геофізичними, геохімічними, гідрогеологічними, екологічними дослідженнями та адміністративно-регулювальними функціями [1].

**Виділення раніше невирішеної частини проблем.** У цій праці пропонуємо аналіз системи організації та фінансування ГРР, спрямованих на приріст запасів залізних руд, які є стратегічним видом мінеральної сировини як для окремих регіонів України, так і для держави загалом.

Питання стадійності геологорозвідувальних робіт, їхні об'єкти й завдання на кожній зі стадій ретельно вивчають науковці та спеціалісти профільного міністерства й галузевих відомств на противагу питанню доцільності фінансування з боку різних суб'єктів. Ступінь ризику кожної зі стадій

геологорозвідувальних робіт у контексті отримання достатньої геологічної інформації для переходу до іншої стадії та обсяг потрібних капіталовкладень є різними. У вітчизняній практиці державне фінансування охоплює всі три стадії геологорозвідувальних робіт, що внаслідок призводить до неефективного використання державних коштів і стримування недержавного фінансування з боку суб'єктів підприємницької діяльності. Питання державного моніторингу погашення та приросту запасів корисних копалин і, зокрема, запасів залізних руд є відкритим і жодним чином не відображене в Програмі розвитку МСБ до 2030 року, що не дає змоги ухвалювати відповідних управлінських рішень щодо доцільності державного і недержавного фінансування тих чи інших родовищ залізних руд, зважаючи на ступінь їхньої виснаженості.

**Основні результати дослідження.** Мінерально-сировинна база залізних руд характеризується інтенсивним використанням й охоплює розвідані і попередньо розвідані запаси, більша частина з яких належить до розподіленого фонду надр.

Стан запасів родовищ залізних руд у динаміці засвідчує позитивні тенденції стосовно збільшення кількості родовищ, наприклад, цей показник зріс із 55 родовищ (2012 рік) до 60 родовищ (2017 рік) зі зменшенням показника розроблюваних родовищ з 30 (2012 рік) до 25 (2017 рік). Зменшення показника залізних руд за 6 років (2012–2017 рік) на 904 млн т супроводжується зменшенням розроблюваних балансових запасів на 5431,1 млн т або на 32 %. Обсяг видобутку й погашення запасів залізних руд незначно зменшився, але рівень втрат у питомій вазі збільшився з 2,8 до 3,0 %. Зменшення балансових запасів у динаміці свідчить про перевищення темпів їхнього погашення над темпами приросту, така ситуація може пояснюватись або сповільненням темпів проведення ГРР, або їхнім призупиненням (табл. 1).

З огляду на дані ДНВП «Геоінформ України» за групою металічних корисних копалин станом на 16.03.2019 року діє 66 дозволів на користування надрами, з них 35 дозволів на залізні руди, зокрема на геологічне вивчення – 1 дозвіл, на видобування корисних копалин (промислове розроблення родовищ) – 34 дозволи. У межах чинних дозволів місцезнаходження об'єктів ліцензування (родовищ) залізних руд охоплює 4 територіальні одиниці: Запорізька область – 4 дозволи, Дніпропетровська область – 24 дозволи, Кіровоградська область – 3 дозволи, Полтавська область – 4 дозволи.

Проаналізувавши чинні спеціальні дозволи, було з'ясовано, що видобуток залізних руд здійснюється на 26 родовищах, серед яких 19 перебувають у стадії розроблення, а сім родовищ не залучені до промислового освоєння (табл. 2–3).

Унаслідок систематизації об'єктів було виділено чотири групи родовищ, які перебувають у процесі розроблення, відповідно до величини запасів залізних руд. Зокрема, до I групи зараховано три родовища з величиною запасів до 100 млн т,

**Таблиця 1. Динаміка та стан запасів родовищ залізних руд у період 2012–2017 рр.\***

Показники	1.01.2013 року	1.01.2014 року	1.01.2015 року	1.01.2016 року	1.01.2017 року	1.01.2018 року
Кількість родовищ, зокрема:	55	56	60	60	60	60
розроблювані родовища	30	29	28	27	26	25
Запаси балансові, усього (млн т)	28063,1	29506,4	28900,8	29222,2	27093,7	27159,1
Запаси балансові, у розробці (млн т)	16979,9	16509,2	16008,3	15222,8	11997,2	11548,8
Погашено запасів (млн т)	172,1	175,6	176,4	177,3	169,2	166
Видобуток (млн т)	167,4	170,4	171,3	172	164	161,2
Втрати (млн т)	4,7	5,2	5,2	5,3	5,2	4,8

\* Складено за даними праці [6].

що становить 0,7 % від загальної кількості добувних запасів відповідно до чинних спеціальних дозволів; до II групи увійшло дев'ять родовищ з величиною запасів від 100 млн т до 500 млн т, що становить 20,1 %; до III групи – два родовища з величиною запасів від 500 млн т до 1000 млн т, що становить 15,1 %; до IV групи – п'ять родовищ з величиною запасів понад 1000 млн т, що становить 64,1 %.

Групування запасів родовищ залізних руд за величиною дає змогу стверджувати, що приблизно 80 % запасів залізних руд для розроблюваних родовищ – це запаси від 500 млн т і більше, що підтверджує середній рівень їхньої виснаженості.

Ситуація з розподілом родовищ залізних руд, незалучених до промислового освоєння, децю відмінна від вищенаведеної. На сьогодні чинні сім дозволів на користування надрами щодо видобутку корисних копалин родовищ, незалучених до промислового освоєння. Тобто в межах цих родовищ не проводять ГРР і відповідно не здійснюється приріст запасів, а тільки видобуток через погашення вже розвіданих запасів. Поділ запасів родовищ залізних руд на групи дає змогу стверджувати, що приблизно 7,7 % нерозроблюваних родовищ залізних руд забезпечені запасами до

500 млн т, з них 0,5 % забезпечені до 100 млн т. Така ситуація не є критичною, але викликає деякі занепокоєння стосовно рівня забезпеченості цієї групою корисних копалин як для внутрішнього використання, так і для експортного потенціалу.

Ступінь забезпеченості запасами залізних руд визначено за даними чинних спеціальних дозволів на користування надрами та проектною продуктивністю з видобутку [5]. Виділено групи родовищ, для яких установлені терміни становлять до 30 років, 30–50 років, 50–100 років і понад 100 років експлуатації. З огляду на потребу окупності капіталовкладень у промислове освоєння, можливих змін кон'юнктури ринків залізорудної сировини і терміну дії спеціальних дозволів на видобування та плати за запаси під час отримання і подовження дії спеціальних дозволів на користування, оптимальним терміном забезпеченості є 40–50 років. На сьогодні з таким оптимальним рівнем забезпеченості виявлено 6 родовищ, що становить 35 % від їхньої загальної кількості. Зі зростанням проектною продуктивністю добувних підприємств у разі поліпшення кон'юнктури ринків мінеральної сировини (зростання світового рівня цін на залізну руду та (або) збільшення попиту) рівень забезпеченості деяких

**Таблиця 2. Розподіл розроблюваних родовищ залізних руд (станом на 16.03.2019 р.)\***

Розподіл запасів за величиною	Назва об'єкта обліку (родовище)	Ступінь освоєння надр	Власник спеціального дозволу на користування надрами
I група (<100 млн т)	Саксаганське	розробка з 1953 р.	ПАТ “Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча”
	Поле шахти “Октябрська”	розробка з 1887 р.	ПАТ “Криворізький залізорудний комбінат”
	Поле шахти ім. М. В. Фрунзе	розробка з 1885 р.	ПАТ “Суша балка”
II група (100–500 млн т)	Велика Глеюватка	розробка з 1960 р.	ПАТ “Центральний гірничозбагачувальний комбінат”
	Петрівське	розробка з 1979 р.	
	Південно-Білозірське	розробка з 1969 р.	ПАТ “Запорізький залізорудний комбінат” з іноземними інвестиціями
	Поле шахти ім. В. І. Леніна	розробка з 1894 р.	ПАТ “Криворізький залізорудний комбінат”
	Поле шахти “Гвардійська”	розробка з 1889 р.	
	Поле шахти “Родіна”	розробка з 1889 р.	
	Рудник ім. Кірова	розробка з 1987 р.	ПАТ “Арселорміттал Кривий Ріг”
	Валявкінське	розробка з 1972 р.	
Шиманівське	розробка 1962 р.	ТОВ “Шиманівське стіл”	
III група (500–1000 млн т)	Скелеватське Магнетитове	розробка з 1955 р.	ПАТ “Південний гірничозбагачувальний комбінат”
	Ганнівське	розробка з 1963 р.	ПАТ “Північний гірничозбагачувальний комбінат”
IV група (>1000 млн т)	Інгулецьке	розробка родовища	ПАТ “Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат”
	Горішньо-Плавнівське – Лавриківське	розробка родовища	ПАТ “Полтавський гірничозбагачувальний комбінат”
	Єривське	розробка родовища	
	Поле шахти “Ювілейна”	розробка з 1896 р.	ПАТ “Суша балка”
	Новокриворізьке	розробка з 1971 р.	ПАТ “Арселорміттал Кривий Ріг”

\* Складено за даними праці [5].

**Таблиця 3. Розподіл родовищ залізних руд, незалучених до промислового освоєння (станом на 16.03.2019 р.)\***

Розподіл запасів за величиною	Назва об'єкта обліку (родовище)	Ступінь освоєння надр	Власник спеціального дозволу на користування надрами
I група (<100 млн т)	Кар'єр “Південний”	не розробляється	ТОВ “Рудомайн”
	Ділянка “Латівська”	не розробляється	ТОВ “Схід руд трейд”
	Ділянка “Червона Балка”	не розробляється	ТОВ “Кривбас цемент пром”
II група (100–500 млн т)	Переверзівське	не розробляється	ПАТ “Запорізький залізорудний комбінат” з іноземними інвестиціями
III група (500–1000 млн т)	–	–	–
IV група (>1000 млн т)	Поле шахти “Першотравнева”	не розробляється	ПАТ “Північний гірничозбагачувальний комбінат”
	Кременчуцьке	не розробляється	ТОВ “Біланівський гірничозбагачувальний комбінат”
	Біланівське	не розробляється	

\* Складено за даними праці [5].

родовищ залізних руд може стати критичним як для внутрішнього споживання, так і для експортних поставок (табл. 4).

Для об'єктів з термінами забезпеченості меншими від оптимального питання організації та фінансування геологічного вивчення для приросту запасів є особливо актуальними. Особливості проведення геологорозвідувальних робіт на залізні руди в подальшому доцільно розглядати з розподілом за стадіями ГРП та державного і недержавного фінансування.

В Україні стадійність геологорозвідувальних робіт на залізні руди на нормативно-законодавчому рівні регулюється положеннями про стадії ГРП на тверді корисні копалини [4]. Ця стадійність загалом відповідає схемі стадійності, яку використовують на пострадянському просторі та яку рекомендує ООН як міжнародну.

Джерелом фінансування геологорозвідувальних робіт на групу залізних руд у межах розвитку мінерально-сировинної бази України відповідно до чинної нормативно-правової бази є тільки кошти державного бюджету. Обсяги бюджетного фінансування щорічно визначає Закон України "Про державний бюджет" на відповідний рік у межах чинної бюджетної програми КПКВК 2404020 "Розвиток мінерально-сировинної бази" за відповідними напрямками використання коштів. Фінансування з інших джерел мало б передбачати інвестиції приватного бізне-

су – власні або боргові. Плановий показник державного і недержавного фінансування визначає Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року [3] (табл. 5).

Відповідно до паспорту Програми розвитку МСБ до 2030 року фінансування заходів з розвитку МСБ металічних корисних копалин передбачене в розмірі 1940,45 млн грн, зокрема на чорні метали – 18,3 %, на руди кольорових і легувальних металів – 27,4 %, на руди рідкісних і рідкоземельних металів – 13,6 %, на руди дорогоцінних металів – 40,7 %. Фінансування заходів з розвитку МСБ металічних корисних копалин становить 7,4 % від загального обсягу фінансування. Загалом Програма розвитку МСБ передбачає як державне, так і недержавне фінансування, але в частині фінансування заходів на металічні корисні копалини, зокрема на залізні руди, державне фінансування становить 100 %, тобто цією Програмою не передбачено фінансування з інших джерел.

Загалом Програма передбачає приріст запасів металічних корисних копалин на 27805,9 од. у. п., що становить 70,4 % від загального приросту запасів, зокрема приріст чорних металів становить 26,9 %, руд кольорових металів – 31,2 %, руд рідкісних і рідкоземельних металів – 3,5 %, руд дорогоцінних металів – 38,4 %. Зауважимо, що плановий показник приросту залізних руд становить 7420 од. у. п., тобто 99,3 % у

**Таблиця 4. Визначення ступеня забезпеченості запасами розроблюваних родовищ залізних руд\***

Термін забезпеченості	Назва об'єкта обліку (родовище)	Власник спеціального дозволу на користування надрами
I група (до 30 років)	Інгулецьке	ПАТ "Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат"
II група (30–50 років)	Поле шахти ім. М. В. Фрунзе	ПАТ "Суша балка"
	Валяківське	ПАТ "Арселорміттал Кривий Ріг"
	Петрівське	ПАТ "Центральний гірничозбагачувальний комбінат"
	Південно-Білозірське	ПАТ "Запорізький залізорудний комбінат" з іноземними інвестиціями
	Горішньо-Плавнівське – Лавриківське	ПАТ "Полтавський гірничозбагачувальний комбінат"
III група (50–100 років)	Поле шахти "Октябрьська"	ПАТ "Криворізький залізорудний комбінат"
	Скелеватське Магнетитове	ПАТ "Південний гірничозбагачувальний комбінат"
IV група (понад 100 років)	Єриствіське	ПАТ "Полтавський гірничозбагачувальний комбінат"
	Велика Глеюватка	ПАТ "Центральний гірничозбагачувальний комбінат"
	Ганнівське	ПАТ "Північний гірничозбагачувальний комбінат"
	Переверзівське	ПАТ "Запорізький залізорудний комбінат" з іноземними інвестиціями
	Поле шахти ім. В. І. Леніна	ПАТ "Криворізький залізорудний комбінат"
	Поле шахти "Гвардійська"	ПАТ "Криворізький залізорудний комбінат"
	Поле шахти "Родіна"	
	Поле шахти "Ювілейна"	ПАТ "Суша балка"
Новокриворізьке	ПАТ "Арселорміттал Кривий Ріг"	

\* Складено за даними праці [5].

**Таблиця 5. Обсяги фінансування заходів, передбачених Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року стосовно металічних корисних копалин\***

№ з/п	Показники	Приріст запасів/ресурсів		Обсяг фінансування		Середні витрати млн грн на од. у. п.
		одиниць умовного приросту (од. у. п.)	питома вага, %	млн грн	питома вага, %	
	Загальний приріст запасів у межах державного фінансування, зокрема:	39485,4	93,8	26148,87	13,8	0,66
	Металічні корисні копалини, зокрема:	27805,9	70,40	1940,45	7,40	0,07
1	Чорні метали, зокрема:	7476,00	26,9	355,3	18,3	0,05
	залізні руди (зокрема природно багаті)	7420	99,3	209	58,8	0,03
	манганові руди	40	0,5	67,94	19,1	1,7
	хромітові руди	16	0,2	78,36	22,1	4,9
2	Руди кольорових і легувальних металів	8665,5	31,2	531,29	27,4	0,06
3	Руди рідкісних і рідкоземельних металів	961,4	3,5	264,05	13,6	0,27
4	Руди дорогоцінних металів	10703	38,4	789,81	40,7	0,07

\* Складено за даними праці [3].

межах приросту чорних металів та 26,7 % у межах приросту металічних корисних копалин. Цей приріст забезпечується фінансуванням в обсязі 209,0 млн грн, що становить 58,8 % від обсягу фінансування чорних металів та 10,8 % від обсягу фінансування металічних корисних копалин. Утім, якщо порівняти із середнім показником погашення запасів залізних руд упродовж 2012–2017 рр., то він у 2,1 раза переважає плановий показник приросту, затверджений Програмою.

Загальнодержавна програма розвитку МСБ до 2030 року прямо не відображає фінансування геологорозвідувальних робіт за стадіями. Але внаслідок вибірки, систематизованої в табл. 6, можна стверджувати, що державним коштом забезпечено роботи 2 стадій – пошук і пошукову оцінку родовищ залізних руд та розвідку. Зокрема, державне фінансування робіт з пошуку та пошукової оцінки родовищ залізних руд (II стадія ГРР) передбачає 167,2 млн грн, що становить 80,0 % фінансування ГРР на цю групу корисних копалин, фінансування робіт з розвідки родовищ корисних копалин (III стадія ГРР) становить 41,8 млн грн або 20,0 % відповідно.

Пошук та пошуково-оцінювальні роботи як II стадія ГРР покликані забезпечити 90,7 % приросту залізних руд; розвідка як III стадія ГРР покликана забезпечити 9,3 % приросту. Зазначимо, що III стадія ГРР на залізні руди коштує державі в 2,4 раза дорожче, ніж II стадія, а середні витрати на 1 од. у. п. становлять 24,8 тис. грн та 60,6 тис. грн відповідно.

Для виявлення оптимального розподілу фінансування ГРР за стадіями проведено зіставлення показників фінансування за Програмою до 2030 року з розподілом основних геологічних ризиків і загальних ризиків гірничого бізнесу (рис. 1).

Водночас під геологічним ризиком розуміємо вірогідність непідтвердження кількості та якості запасів і ресурсів корисних копалин. Під ризиком гірничого бізнесу розуміємо ймовірність неокупності інвестицій у ГРР та втілення геологічних і гірничих проектів.

На I стадії ГРР досить високі геологічні ризики супроводжуються помірними ризиками гірничого бізнесу (неокупності капіталовкладень) і невеликими питомими витратами для отримання геологічної інформації, до того ж у межах Програми розвитку МСБ до 2030 року на цих роботах зосереджено 9,91 %

від загального обсягу державного фінансування. II стадія ГРР супроводжується вищим за середній показником геологічного ризику, високим ризиком гірничого бізнесу (неокупності капіталовкладень) і великими витратами, на цих роботах зосереджено 65,71 % державного фінансування. Найнижчі геологічні ризики та ризики гірничого бізнесу (неокупності) притаманні III стадії ГРР, яка є найбільш капіталомісткою і на фінансуванні якої зосереджено 16,7 % державних коштів. Цей аналіз дає змогу зробити висновок, що державним коштом забезпечено найризикованішу стадію ГРР в умовах недостатнього обсягу державного фінансування, що внаслідок може призвести до неотримання очікуваного якісного геологічного продукту та неефективного використання державних коштів (рис. 2).

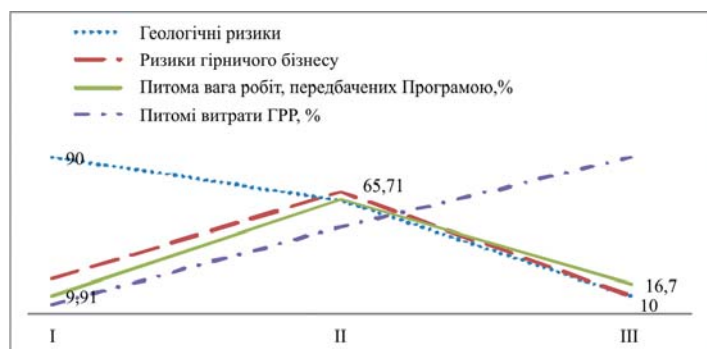
Загалом Програмою до 2030 року державне фінансування ГРР на паливно-енергетичні ресурси заплановане в сумі 16397,23 млн грн, зокрема на пошук та пошукову оцінку передбачено 14646,15 млн грн або 89,3 %; на розвідку – 1751,08 млн грн або 10,7%; на металічні корисні копалини – 1940,45 млн грн, зокрема на роботи з пошуку та пошукової оцінки – 1334,32 млн грн або 68,8 %, на розвідку – 606,03 млн грн або 31,2 %; на неметалічні корисні копалини – 606,11 млн грн, зокрема на пошуки та пошукову оцінку – 391,22 млн грн або 64,5 %, на розвідку – 214,89 млн грн або 35,5 %. Тобто державна політика з розвитку МСБ у межах постадійного фінансування ГРР на різні групи корисних копалин (паливно-енергетичні ресурси, металічні і неметалічні ресурси) має стійку тенденцію до віддання переваги у фінансуванні II стадії робіт, попри досить високий рівень ризиків, пов'язаних із цією стадією ГРР (рис. 3).

Зіставлення геологічних ризиків, ризиків гірничого бізнесу та питомої ваги фінансування ГРР на залізні руди в межах Програми розвитку МСБ до 2030 року дає змогу стверджувати, що з досить високим рівнем геологічних ризиків у 50 % та ризиків гірничого бізнесу в 70 % фокус державного фінансування на залізні руди досягає критичного значення у 80 % проти аналогічного показника за всією програмою в 65,7 %. Рівень фінансування III стадії ГРР на залізні руди становить 20 % від загального обсягу за досить низького рівня геологічних ризиків у 10 % і так само ризиків гірничого бізнесу в 10 % відповідно.

**Таблиця 6. Державне фінансування геологорозвідувальних робіт на групу залізних руд в Україні в межах виконання Програми розвитку МСБ до 2030 року – стадійний аспект\***

Обсяг фінансування заходів на розвиток МСБ залізних руд (зокрема природно багатих) коштом державного бюджету України, млн грн				
Стадії	1 етап	2 етап	3 етап	Усього за Програмою
1 стадія ГРР	–	–	–	–
2 стадія ГРР	11,3	57,22	98,68	167,2
3 стадія ГРР	2,82	14,31	24,67	41,8
Усього	14,12	71,53	123,35	209,0
Обсяг умовних одиниць приросту запасів залізних руд (зокрема природно багатих) коштом державного бюджету України, од. у. п.				
Стадії	1 етап	2 етап	3 етап	Усього за Програмою
1 стадія ГРР	–	–	–	–
2 стадія ГРР	740	2560	3430	6730,0
3 стадія ГРР	100	240	350	690,0
Усього	840	2800	3780	7420,0
Середні витрати на 1 од. у. п. залізних руд (зокрема природно багатих) коштом державного бюджету України, тис. грн				
Стадії	1 етап	2 етап	3 етап	Усього за Програмою
1 стадія ГРР	–	–	–	–
2 стадія ГРР	15,3	22,4	28,8	24,8
3 стадія ГРР	28,2	59,6	70,5	60,6
Усього	16,8	25,5	32,6	28,2

\* Складено за даними праці [3].



**Рис. 1.** Співвідношення геологічних ризиків і ризиків гірничого бізнесу з розподілом державного фінансування ГРР за Програмою до 2030 року

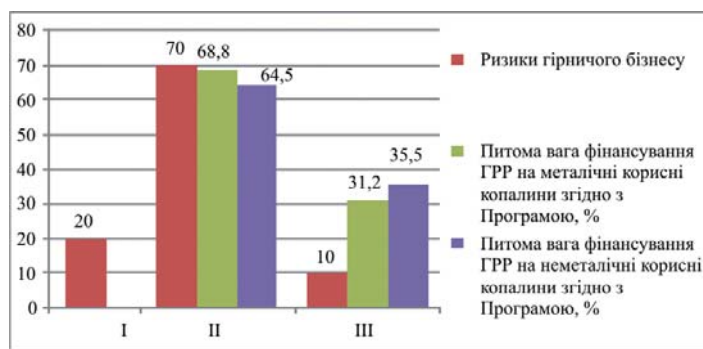
На сьогодні право на видобуток залізних руд, відповідно до чинних спеціальних дозволів, мають тільки недержавні підприємства. Держава, забезпечуючи інституційне і фінансове супроводження II та III стадії ГРР на групу залізних руд, які є досить дорогими й ризикованими за змістом та отриманням “геологічного продукту”, не стимулює, а непрямо блокує активність недержавних інституцій щодо фінансування та проведення таких робіт. Унаслідок це може призвести через 10–20 років до погашення запасів без приросту.

**Висновки.** На жаль, попри потужний науковий потенціал і високий професійний рівень виконання завдань, державним геологічним підприємствам украї важко конкурувати з підприємствами недержавної форми власності в частині проведення II та III стадій ГРР. Цей факт спричинений браком базового фінансування державних геологічних підприємств для оновлення наявного матеріально-технічного устаткування, їхнє фінансування відбувається згідно із затвердженими пооб’єктними планами в межах державного замовлення щодо розвитку МСБ.

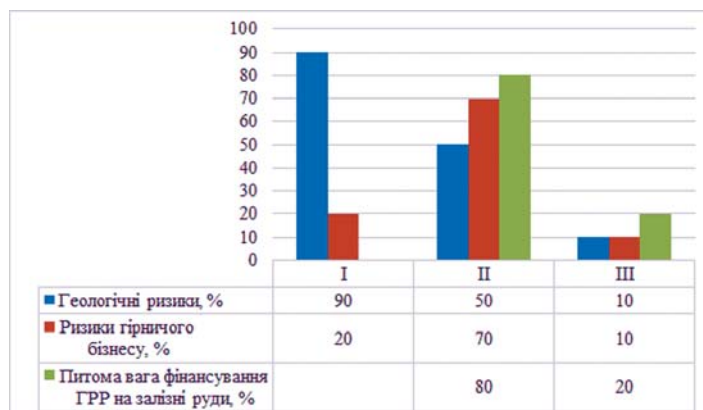
Зростання світових цін на залізні руди в перспективі може зумовити потребу збільшення проектної продуктивності добувних підприємств і відповідно обсягів видобування вже розвіданих запасів для задоволення експортних потреб, що також зумовить скорочення терміну забезпеченості запасами цієї групи корисних копалин і потребу проведення ГРР для їхнього приросту. Відповідно до показників погашення та приросту запасів залізних руд потрібно вживати заходів щодо активізації ГРР завдяки недержавному фінансуванню з огляду на виснаженість запасів певних родовищ, щоб запобігти критичній ситуації. Під час ухвалення рішень щодо джерел та обсягів фінансування розвитку МСБ відповідної групи родовищ треба зважати на стадійність, рівень геологічних і гірничих ризиків. На сьогодні в межах чинної Програми розвитку МСБ до 2030 року 80 % фінансування залізних руд зосереджено на II стадії ГРР з досить високим рівнем геологічного ризику в 50 % та ризику гірничого бізнесу в 70 %. Такий підхід не стимулює представників бізнесових кіл інвестувати кошти в розвиток МСБ залізних руд.

**ЛІТЕРАТУРА**

- Жикаляк М. В. Світовий досвід державного регулювання гірничої промисловості//Держава та регіони. Сер.: Економіка та підприємництво. – 2013. – № 4.– С. 69–74.
- Повідомлення про оприлюднення проекту Закону України “Про внесення змін до Закону України “Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року”: URL: <http://www.geo.gov.ua/notice-of-promulgation-of-draft-regulatory-acts/> (дата звернення 07.03.2019).



**Рис. 2.** Співвідношення ризиків гірничого бізнесу з розподілом державного фінансування ГРР на металічні і неметалічні корисні копалини за Програмою до 2030 року



**Рис. 3.** Співвідношення ризиків гірничого бізнесу з розподілом державного фінансування ГРР на залізні руди за Програмою до 2030 року

3. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року: Закон України від 21.04.2011 р. № 3268-VI. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3268-17> (дата звернення 02.02.2019).

4. Про затвердження Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини: Наказ Комітету України з питань геології та використання надр від 15.02.2000 р. № 19. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-00> (дата звернення 02.02.2019).

- <http://geoinf.kiev.ua/specdozvoli/>
- <http://minerals-ua.info/stan-zapasiv.php>
- <http://www.ukrstat.gov.ua/>

**REFERENCES**

- Zhykalyak M. World experience of government regulation of mining industry//Derzhava ta rehiony. Ser.: Ekonomika ta pidpriemnytstvo. – 2013. – № 4. – P. 69–74. (In Ukrainian).
- Notice of the promulgation of the draft Law of Ukraine “On Amendments to the Law of Ukraine” On Approval of the National Program for the Development of the Ukrainian Mineral Resources Base for the Period until 2030?: (2017). Retrieved March 7, 2019, from <http://www.geo.gov.ua/notice-of-promulgation-of-draft-regulatory-acts/> (In Ukrainian).
- The National program of development of mineral base of Ukraine for period to 2030 (2011). Retrieved February 2, 2019, from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3268-17> (In Ukrainian).
- Regulations on the stage of exploration works on solid minerals. (2000). Retrieved February 2, 2019, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-00>. (In Ukrainian).
- <http://geoinf.kiev.ua/specdozvoli/>
- <http://minerals-ua.info/stan-zapasiv.php>
- <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Рукопис отримано 24.04.2019.

УДК 622.06

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.40-45>

**Г. І. РУДЬКО**, д-р геол.-мінерал. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, професор (Державна комісія України по запасах корисних копалин), м. Київ, Україна, [office@dkz.gov.ua](mailto:office@dkz.gov.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,  
**Ф. М. ІСАТАЄВА**, докторантка (Карагандинський державний технічний університет), м. Караганда, [isataeva.farida@gmail.com](mailto:isataeva.farida@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6208-3292>,  
**В. С. ПОРТНОВ**, д-р техн. наук, професор (Карагандинський державний технічний університет), м. Караганда, Казахстан, [vs\\_portnov@mail.ru](mailto:vs_portnov@mail.ru)

**G. RUDKO**, Doctor of Geology and Mineralogy, Doctor of Geographical Sciences, Doctor of Technical Sciences, professor (State Commission of Ukraine on Mineral Resources), [office@dkz.gov.ua](mailto:office@dkz.gov.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,  
**F. ISSATAYEVA**, doctoral candidate (Karaganda State Technical University), Karaganda, Kazakhstan, [isataeva.farida@gmail.com](mailto:isataeva.farida@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6208-3292>,  
**V. PORTNOV**, Doctor of Technical Sciences, professor (Karaganda State Technical University), Karaganda, Kazakhstan, [vs\\_portnov@mail.ru](mailto:vs_portnov@mail.ru)

## ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОДОВИЩ РУДНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА ОСНОВІ РК ООН 2009 (НА ПРИКЛАДІ КУСМУРИНСЬКОГО РОДОВИЩА МІДІ В РЕСПУБЛІЦІ КАЗАХСТАН)

## GEOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF ORE MINERAL DEPOSITS BASED ON UN FRAMEWORK CLASSIFICATION 2009 (ON EXAMPLE OF KUSMURYN COPPER FIELD IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN)

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Нова модель економічного зростання Казахстану зорієнтована на зниження виробничої залежності від імпорту та зростання внутрішньої стабільності. У статті показано, що зростання інвестиційної привабливості гірничо-металургійної галузі багато в чому зумовлене впровадженням у Казахстані міжнародної системи стандартів звітності по запасах корисних копалин CRIRSCO. На основі геолого-економічної оцінки родовища Кусмурын надано рекомендації щодо її вдосконалення, наближення до міжнародних стандартів.

**Ключові слова:** Казахстан, запаси, CRIRSCO, геолого-економічна оцінка, родовище.

The new model of economic growth in Kazakhstan is focused on reducing production dependence on imports and increasing internal stability. The paper shows that the growth of investment attractiveness of the mining-and-smelting industry is largely caused by introducing in Kazakhstan the international system of reporting standards for mineral reserves CRIRSCO. Based on the geological and economic assessment of the Kuzmuryin deposit, recommendations have been given for its improvement, approximation to the international standards.

**Keywords:** Kazakhstan, reserves, CRIRSCO, geological and economic assessment, field.

**Introduction.** Despite all the changes in the economy of Kazakhstan, the fuel and raw materials complex remains the key source of its income. The main features of the Kazakhstan economy are as follows: an active government intervention in the economy; a poorly diversified structure of the economy with the predominance of industries and segments focused on the extraction of natural rent; a growing dependence on foreign investments [1].

The national economy progress is constrained by internal problems of the mining-and-smelting industry: depletion of the mineral resource base, deterioration in the quality of mined ores and slow development of new deposits, a low degree of complexity in the use of mineral raw materials, low production volumes of high conversion, an obsolete technical base [2]. The situation is aggravated by the growth of the environmental security of the state not only in the segments of oil-and-gas and coal production that are the main sources of environmental pollution, but also as part of the pace of developing nuclear power generation. The above-said confirms the need of attracting investments in exploration to replenish the resource base. Moreover, Kazakhstan is set to comply with the Extractive Industries Transparency Initiative Standards.

**Presentation of the material.** *Reducing the production dependence of the economy of Kazakhstan on imports and the growth of its internal stability* is mainly reflected in the forming the basis for the growth of non-oil exports; the involvement of raw materials in the Kazakhstan production chains. New measures of the government

support for commodity producers stimulate developing the Kazakhstan content, open up prospects for modernizing the existing industries and provide transition to producing the goods necessary to meet the needs of the domestic market with a corresponding parity of price and quality. In nonferrous metallurgy emphasis will be placed on expanding the production of base metals (copper, gold, titanium, aluminum); increasing the production of various articles (wire rod, wire, rolled metal, profiles and alloys, foil, jewelry) [3].

To overcome the “trap of average income” on the way to entering the thirty developed countries of the world, Kazakhstan is forming a new model of economic growth. It is based on stimulating export-oriented production by increasing the productivity and complexity of the economy, developing the human capital and attracting private funds in the conditions of increasing competition, the leading role of the private sector and realizing the development potential of the country’s regions. The goal has been set: to double non-commodity exports by 2025, to intensify industrialization with the emphasis on competitive export production in priority sectors of the economy [4] (Table 1).

One of the primary conditions for the growth of investment attractiveness of the mining industry and the mineral resource complex of Kazakhstan is transition to the international system of reporting standards for mineral reserves CRIRSCO. In accordance with this system, geological and technical information is determined for the projects being developed that enterprises should show to the public. Only such an approach can guarantee investors the confidence that the information provided to them is as reliable and truthful as possible.



**Table 1. The key national indicators**

Indicator	Unit	Years			
		2016	2021	2025	2050
The GDP per capita	in current dollars in nominal terms	7715	13190	18500	33270
The labor productivity growth	% increase of the 2016 level in 2016 prices	–	24	51	363
The volume of non-commodity exports of goods and services	billion dollars	19,2	29,2	41,0	90,0
The share of non-observed (shadow) economy	% of the GDP	25,8	23	20	15
Fixed investments	% of the GDP	16,4	17,1	19,4	30,0
The Logistics Performance Index (World Bank)	the place	77	40	38	30
The GDP energy intensity (the indicator of proxy impact on the environment, according to the IEA)	% decrease of the 2008 level	13	20	25	50

Source: Strategic Plan of the Republic of Kazakhstan Development till 2025. Approved by the Republic of Kazakhstan President’s Decree № 636 dated 15/02/18.

Achieving the sustainable development of Kazakhstan requires intensification of extracting and processing natural resources into finished products. To solve the problem of growing the quality of rude minerals of non-ferrous metallurgy, it is necessary to improve the quality management system based on geological and technological typification of ores. And here not only geological and geophysical studies will have an invaluable role, but also a detailed, reliable geological and economic assessment of various fields.

The object of this study is the Kuzmuryr pyrite-copper-lead-zinc deposit, a structural unit of the Kazakhmys Corporation LLP, one of the three largest copper producers in Kazakhstan. The Kuzmuryr field is an object of the exploratory study within the framework of the state assignment for studying the promising areas for attracting investments.

Kazakhstan accounts for about 6 % of the globally proven copper reserves, or more than 41 million tons. At present copper is used at 64 objects, of them 14 are mined, 35 are explored and 15 are explored and mined. In the ranking for investments in the subsoil use of copper the Kazakhmys Corporation LLP accounts for 73 % of capital investments and 56 % of the annual copper production in the country. According to forecasts for 2018, the amount of investments in the copper industry will amount to \$876 million including \$10 million that will be spent on geological exploration [5].

The Kazakhmys Corporation LLP that has all the necessary capacities in the cities of Zhezkazgan and Satpayev for extracting, processing and producing finished products, is the main potential consumer of copper in the Zhezkazgan region. In the coming years the Kazakhmys Corporation plans to build a processing plant and to further explore the Akbastau-Kosmurun ore field in order to detect copper, gold and other minerals.

In the post-Soviet period the Kazakhmys Corporation LLP developed the field by the open method with further mining by the underground method. Until 2009 the deposit was one of the main sources of raw materials for copper and copper-zinc ore for the Karagaily concentrator, a member of the corporation.

However, the mixed type of ores with a higher content of copper and zinc oxides, the high labor intensity of dressing copper-zinc ores, the long-term transportation of ore by dump trucks along the grader road to the processing plant and insufficient knowledge of the technology for processing copper-zinc ores negatively affected the cost of concentrate obtained from them. Therefore, at the end of 2009 the Kazakhmys Corporation LLP was forced to stop mining operations in the field, and in the middle of 2010 permission was received for the “conservation” of mining operations until 2012.

At the same time the Corporation carried out geological exploration in the field to select a representative technological sample, to carry out tests and to further develop a scheme for processing copper-zinc ores. It was necessary to carry out drilling work with taking the core material for technological mapping, additional exploration of the flanks of the field, both along strike and to the dip. Due to the need of revising the depth of the field, studying stability of the future pit walls, it was planned to carry out engineering and geological drilling followed by tests for determining physical and mechanical properties of the rocks.

In terms of its material composition (pyrite up to 90 %), the ore of the Kuzmuryr field is classified as a copper-pyritic industrial type with such main ore-forming minerals, as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galen [7]. In accordance with the approved reserves, the field is recognized as small. Since the Kuzmuryr deposit is an object of exploratory research in the framework of the state assignment for studying promising areas for attracting investments, in 2013 the exploration work was resumed. Taking into account a significant effect of the steeply inclined occurrence of some ore bodies on stability of the ore and rock massif in the course of developing, more geomechanical research was needed to monitor the rock massif state, mine safety and adjustments to mining technology.

For subsequent developing the technology of processing copper-zinc ores and building a new concentrator near the deposit, additional exploration was carried out. Technological samples of copper and copper-zinc ores from cores of ore bodies drilled in the contours of ore bodies were picked with intersecting at various horizons; the

**Table 2. Summary table of reserves in the contour of the Kuzmuryr open pit for the side copper content of 0,7 % on 01/01/2018**

Category	Content										Block volume, t.m <sup>3</sup>	Ore reserves, t.t	Mineral reserves									
	Cu, %	Zn, %	Pb, %	Au, g/t	Ag, g/t	S pyr., %	S tot., %	Cd, g/t	Se, g/t	Te, g/t			Cu, t.t	Zn, t.t	Pb, t.tr	Au, kg	Ag, t	S pyr., t.t	S tot., t.t	Cd, t	Se, t	Te, t
<b>Upper ore body</b>																						
C <sub>1</sub>	4,26	2,55	0,61	3,01	33,60	23,15	37,46	198,26	195,24	131,49	344,69	1464,9	62,4	374	9,0	4407,1	49,2	339,2	548,8	290,4	286,0	192,6
<b>Lens III</b>																						
C <sub>2</sub>	1,72	0,23	0,00	0,03	2,14	13,55	14,37	3,44	0,50	0,30	71,51	303,9	5,2	0,7	0,0	9,9	0,7	41,2	43,7	1,0	0,2	0,1
<b>Total</b>																						
C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub>	3,82	2,15	0,51	2,50	28,20	21,50	33,49	164,78	161,78	108,95	416,20	1768,8	67,6	38,0	9,0	4417,1	49,9	380,4	592,4	291,5	286,2	192,7

Table 3. Reserves movement at the Kuzmuryr deposit on 01/01/2018 in the contour of the project open pit

Elements for computing	Unit	Reserves approved by the USSR GKZ				Amortized on 01/01/2016	Remainder on 01/01/2012			Recount on 01/01/2018			Increment (+) Loss (-)	Increment, rel. %		
		Balance		Off-balance	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>													
For open development																
Mixed ores																
Mixed and sulfide ores, Upper and Lens III ore bodies																
Ore reserves	th.ton	3084,5	323,2	3407,7	2593,3	562,2	252,2	814,4	1464,9	303,9	1768,8	954,4	117			
copper	th.ton	140,2	5,8	146,0	112,3	28,9	4,8	33,7	62,4	5,2	67,6	33,9	101			
zinc	th.ton	69,0	0,8	69,8	58,4	10,9	0,5	11,4	37,4	0,7	38	26,6	233			
gold	kg	7385	772	8157	6072,8	1469,5	614,7	2084,2	4407,1	9,9	4417,1	2332,9	112			
silver	t	102,3	10,7	113,0	98,1	6,4	8,5	14,9	49,2	0,7	49,9	35	235			
selen	t	642	67	709	536,6	120,3	52,1	172,4	286	0,2	286,2	113,8	66			
tellur	t	376	39	415	320,5	64,4	30,1	94,5	193	0,1	192,7	98,2	104			
cadmium	t	484	51	535	427,7	68,4	38,9	107,3	290	1,0	291,5	184,2	172			
sulfur sulfide	th.ton	1226,3	128,5	1354,5	723,76	530,9	100,1	631,04	548,8	43,7	592,4	-38,64	-6			
incl. pyrite	th.ton	1107,4	115,9	1223,3					339,2	41,2	380,4					
Average content:																
copper	%	4,54	1,80	4,28	4,33	5,14	1,90	4,14	4,26	1,72	3,82	-0,32	-8			
zinc	%	2,25	0,26	2,05	2,25	1,94	0,20	1,40	2,55	0,23	2,15	0,75	54			
gold	g/t	2,39	2,39	2,39	2,34	2,61	2,44	2,56	3,01	0,03	2,50	-0,06	-2			
silver	g/t	33,17	33,17	33,17	37,83	11,38	33,70	18,30	33,60	2,14	28,20	9,90	54			
selen	%	0,0208	0,0208	0,0208	0,0207	0,0214	0,0207	0,0212	0,0195	0,0001	0,0162	-0,005	-23			
tellur	%	0,0122	0,0122	0,0122	0,0124	0,0115	0,0119	0,0116	0,0131	0,0000	0,0109	-0,001	-6			
cadmium	%	0,0157	0,0157	0,0157	0,0165	0,0122	0,0154	0,0132	0,0198	0,0003	0,0165	0,003	25			
sulfur sulfide	%	39,76	39,76	39,76	27,91		39,69		37,46	14,37	33,49					
incl. pyrite	%	35,90	35,90	35,90					23,15	13,55	21,50					

structural-tectonic structure of the deposit rocks was studied by drilling wells using electronic core guide and geotechnical documentation, and physical and mechanical properties of rocks were studied on samples taken from the core and contouring of the field, by drilling a well in the extreme northern and southern profile across the strike.

According to the complexity of the structure, the Kuzmuryr field belongs to the second group: a network of drilled wells and mine workings meets the requirements of studying deposits of this category of complexity.

In 2016–2017 the remaining reserves of copper ore in the contour of the project open pit were calculated on 01/01/2018. The Upper and Lens III ore bodies fell into mining, their reserves are listed in Table 2.

Table 3 shows the comparison of reserves recorded in the state balance of the Republic of Kazakhstan, remaining in the mine according to the mine data and calculated again. It follows from the Table that there are still fairly large reserves of copper in the project contour of the mine: 676 thousand tons (3,82 %), zinc: 38.0 thousand tons (2,15 %), gold: 4417 kg (2,5 g/t) and silver: 49,9 t (28,2 g/t). As the studies show, it is necessary to make an adjustment to the project of mining the reserves of the field in the open pit, in case of a positive assessment to produce the remaining reserves.

As it can be seen from Table 4, the comparison of reserves suitable for underground mining due to the additional exploration of 2010–2012, a significant increase in reserves was obtained: the ore relative increase was 89 % (15656 thousand tons), copper 55 % (306 thousand tons), zinc 32 % (43 thousand tons), gold 42 % (6,4 tons), silver 49 % (150 tons). The content of useful components decreased: copper by 8 % (from 3,14 % to 2,58 %), zinc by 30 % (from 0,76 % to 0,53 %), gold by 24 % (from 0,86 g/t to 0,65 g/t), silver by 21 % (from 17,5 g/t to 13,8 g/t). However, they remain high enough for deposits of this type.

Table 5 shows the remaining reserves in the contour of the project pit in terms of the grade of conditional copper 0,7 % on 01/01/2018.

In general, the comparative analysis of reserves by conventionally accepted parameters of conditions allowed drawing the following conclusions:

a) the grade of conditional copper – in mixed and sulfide ores it is 0,7 % – (as in the current conditions); 0,6 %; 0,5 %; 0,4 %; 0,3 %; 0,2 %.

Ore sub-cuttings along the ditches, underground mine workings and wells were allocated for the specified grades of conditional copper, but the reserves were calculated only by options of 0,7 %, 0,6 %, 0,5 % and 0,4 %.

b) We recommend referring to mixed ores the ores with a copper and zinc content in the oxidized and secondary forms more than 20 % of their total content, to solid sulfide ores the ores with the sulfur content of more than 35 %.

**Table 4. Reserves movement at the Kusmuryun deposit on 01/01/2018. All the reserves in the main ore bodies**

Elements for computing	Unit	Reserves approved by the USSR GKZ				Amortized on 01/01/2016	Remainder on 01/01/2012			Off-balance	Recount on 01/01/2018			Increment (+) Loss (-)	Increment, rel. %		
		Balance		Off-balance	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
For open development																	
Oxidized ores																	
Ore reserves	th.ton	143,2	21,3	164,5													
gold	kg	2063	381	2444													
silver	t	34,3	3,0	37,3													
Average content:																	
gold	g/t	14,34	1787	14,86													
silver	g/t	238,5	140,9	226,7													
Mixed ores																	
Ore reserves	th.ton	3084,5	323,2	3407,7		2593,3	562,2	252,2	814,4		2183,1	939,6	3122,7	2308,3	283		
copper	th.ton	140,2	5,8	146,0		112,3	28,9	4,8	33,7		94,4	15,7	110,2	76,5	227		
zinc	th.ton	69,0	0,8	69,8		58,4	10,9	0,5	11,4		51,9	2,7	54,5	43,1	378		
gold	kg	7385	772	8157		6072,8	1469,5	614,7	2084,2		6005	158	6163	4078,8	196		
silver	t	102,3	10,7	113,0		98,1	6,4	8,5	14,9		67,5	3,4	70,9	56	376		
selen	t	642	67	709		536,6	120,3	52,1	172,4		392	68	460	287,6	167		
tellur	t	376	39	415		320,5	64,4	30,1	94,5		242	11	252	157,5	167		
cadmium	t	484	51	535		427,7	68,4	38,9	107,3		300	12	312	204,7	191		
sulfur sulfide	th.ton	1226,3	128,5	1354,5		723,76	530,9	100,1	631,04		809,1	122,6	931,7	300,66	48		
incl. pyrite	th.ton	11074	115,9	1223,3													
Average content:																	
copper	%	4,54	1,80	4,28		4,33	5,14	1,90	4,14		4,33	1,67	3,53	-0,61	-15		
zinc	%	2,25	0,26	2,05		2,25	1,94	0,20	1,40		2,38	0,29	1,75	0,35	25		
gold	g/t	2,39	2,39	2,39		2,34	2,61	2,44	2,56		2,75	0,02	0,20	-2,36	-92		
silver	g/t	33,17	33,17	33,17		37,83	11,38	33,70	18,30		30,93	3,60	22,71	4,41	24		
selen	%	0,0208	0,0208	0,0208		0,0207	0,0214	0,0207	0,0212		0,0180	0,0072	0,0147	-0,006	-31		
tellur	%	0,0122	0,0122	0,0122		0,0124	0,0115	0,0119	0,0116		0,0111	0,0011	0,0081	-0,004	-30		
cadmium	%	0,0157	0,0157	0,0157		0,0165	0,0122	0,0154	0,0132		0,0138	0,0013	0,0100	-0,003	-24		
sulfur sulfide	%	39,76	39,76	39,76		27,91		39,69			23,12	11,72	19,69				
incl. pyrite	%	35,90	35,90	35,90													

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Sulfide ores														
Ore reserves	th.ton	16034	1538,7	17572,7	1182,6		16034	1538,7	17572,7	1182,6	21225,1	12003,6	33228,6	15655,9	89
copper	th.ton	504,6	48,1	552,7	13,1		504,6	48,1	552,7	13,1	576,3	281,9	858,2	305,5	55
zinc	th.ton	122,0	11,7	133,7	1,0		122,0	11,7	133,7	1,0	81,9	94,7	176,7	43	32
gold	кг	13770	1323	15093	639		13770	1323	15093	639	12323	9134	21457	6364	42
silver	t	280,6	270	307,6	11,9		280,6	270	307,6	11,9	301,8	155,7	457,5	149,9	49
selen	t	1122	110	1232	97		1122	110	1232	97	1590	800	2390	1158	94
tellur	t	433	42,0	475	57		433	42,0	475	57	516	285	801	326	69
cadmium	t	1363	133	1496	47		1363	133	1496	47	668	302	970	-526	-35
sulfur sulfide	th.ton	3539,2	323,3	3862,5	209,2		3539,2	323,3	3862,5	209,2	3242,1	2613,2	5855,3	1992,8	52
incl. pyrite	th.ton	2966,9	284,6	3251,5	170,6		2966,9	284,6	3251,5	170,6	3043,7	1860,7	4904,4	1652,9	51
Average content:															
copper	%	3,15	3,11	3,14	1,11		3,15	3,11	3,14	1,11	2,71	2,35	2,58	-0,56	-18
zinc	%	0,76	0,76	0,76	0,08		0,76	0,76	0,76	0,08	0,39	0,79	0,53	-0,23	-30
gold	g/t	0,86	0,86	0,86	0,54		0,86	0,86	0,86	0,54	0,58	0,76	0,65	-0,21	-24
silver	g/t	17,50	17,50	17,50	10,05		17,50	17,50	17,50	10,05	14,22	12,97	13,77	-3,73	-21
selen	%	0,007	0,007	0,007	0,008		0,0070	0,0070	0,0070	0,0080	0,0075	0,0067	0,0072	0,0002	3
tellur	%	0,0027	0,0027	0,0027	0,0048		0,0027	0,0027	0,0027	0,0048	0,0024	0,0024	0,0024	-0,0003	-11
cadmium	%	0,0085	0,0085	0,0085	0,0040		0,0085	0,0085	0,0085	0,0040	0,0031	0,0025	0,0029	-0,0056	-66
sulfur sulfide	%	22,05	22,05	21,98	17,69		22,05	22,05	21,98	17,69	15,27	21,77	17,62	-4,36	-20
incl. pyrite	%	18,50	18,50	18,50	14,43		18,50	18,50	18,50	14,43	14,34	15,50	14,76	-3,74	-20
	<b>TOTAL at the deposit</b>														
	<b>Mixed + Sulfide ores</b>														
Ore reserves	th.ton	19118,5	1861,9	20980,4	1182,6		16596,2	1790,9	18387,1	1182,6	23408,2	12943,2	36351,3	17964,2	98
copper	th.ton	644,8	53,9	698,7	13,1		533,5	52,9	586,4	13,1	670,7	297,6	968,4	382	65
zinc	th.ton	191	12,5	203,5	1,0		132,9	12,2	145,1	1,0	133,8	97,4	231,2	86,1	59
gold	кг	21155	2095	23250	639		15239,5	1937,7	17172	639	18328	9292	27620	10442,8	61
silver	t	382,9	377	420,6	11,9		287	35,5	322,5	11,9	369,3	159,1	528,4	205,9	64
selen	t	1764	177	1941	97		1242,3	162,1	1404,4	97	1982	868	2850	1445,6	103
tellur	t	809	81	890	57		497,4	72,1	569,5	57	758	296	1053	483,5	85
cadmium	t	1847	184	2031	47		1431,4	171,9	1603,3	47	968	314	1282	-321,3	-20
sulfur sulfide	th.ton	4765,5	451,8	5217	209,2		4070,1	423,4	4493,54	209,2	4051,2	2735,8	6787	2293,46	51
incl. pyrite	th.ton	4074,3	400,5	4474,8	170,6		2966,9	284,6	3251,5	170,6	3043,7	1860,7	4904,4	1652,9	51
Average content:															
copper	%	3,37	2,89	3,33	1,11		3,15	3,11	3,14	1,11	2,87	2,30	2,66	-0,48	-15
zinc	%	1,00	0,67	0,97	0,08		0,76	0,76	0,76	0,08	0,57	0,75	0,64	-0,12	-16
gold	g/t	1,11	1,13	1,11	0,54		0,86	0,86	0,86	0,54	0,78	0,72	0,76	-0,10	-12
silver	g/t	20,03	20,25	20,05	10,05		17,50	17,50	17,50	10,05	15,78	12,29	14,54	-2,96	-17
selen	%	0,0092	0,0095	0,0093	0,008		0,0070	0,0070	0,0070	0,0080	0,0085	0,0067	0,0078	0,0008	12
tellur	%	0,0042	0,0044	0,0042	0,0048		0,0027	0,0027	0,0027	0,0048	0,0032	0,0023	0,0029	0,0002	7
cadmium	%	0,0097	0,0099	0,0097	0,0040		0,0085	0,0085	0,0085	0,0040	0,0041	0,0024	0,0035	-0,0050	-59
sulfur sulfide	%	24,93	24,27	24,87	17,69		22,05	22,05	21,98	17,69	17,31	21,14	18,67	-3,31	-15
incl. pyrite	%	21,31	21,51	21,33	14,43		18,50	18,50	18,50	14,43	13,00	14,38	13,49	-5,01	-27

**Table 5. Reserves that remained in the project open pit contour by the grade of conditional copper 0,7 % on 01/01/2018**

Category	Ore reserves t.t	Content of useful components									
		Cu, t.t	Zn, t.t	Pb, t.t	Au, kg	Ag, t	S pyr., t.t	S tot., t.t	Cd, t	Se, t	Te, t
Upper ore body											
C <sub>1</sub>	1464,9	62,4	37,4	9,0	4407,1	49,2	339,2	548,8	290,4	286,0	192,6
		4,26	2,55	0,61	3,01	33,60	23,15	37,46	198,3	195,2	131,5
Lens III											
C <sub>2</sub>	303,9	5,2	0,7	0,0	9,9	0,7	41,2	43,7	1,0	0,2	0,1
		1,72	0,23	0,00	0,03	2,14	13,55	14,37	3,4	0,5	0,3
Total											
C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub>	<b>1768,8</b>	<b>67,6</b>	<b>38,0</b>	<b>9,0</b>	<b>4417,1</b>	<b>49,9</b>	<b>380,4</b>	<b>592,4</b>	<b>291,5</b>	<b>286,2</b>	<b>192,7</b>
		3,82	2,15	0,51	2,50	28,20	21,50	33,49	164,8	161,8	109,0

c) The coefficients for conversion into conditional copper: for mixed ores: copper – 1,0; zinc – 0,4; lead – 0,4; for sulfide ores: copper – 1,0; zinc – 0,3; lead – 0,2.

When converting to conditional copper, do not take into account the copper content of less than 0,4 %, zinc 0,4 % and lead 0,5 %.

d) The minimum industrial thickness of the ore body and grade interval for the open-pit mining is 4,0 m; for underground mining it is respectively 2,0 and 4,0 m. At a smaller thickness there is permitted contouring according to the corresponding GT (grade x thickness).

e) The maximum thickness of the interlayers of dredged rocks and standard ores included in the calculation contour is 4,0 m for open-pit mining and 3,0 m for underground mining.

**Conclusions.** The studies have established that calculation of solid and vein-disseminated sulfide ores reserves should be made in a single contour with separating copper and copper-zinc technological ore grades in the statistical way.

In the contour of balance ores, besides the main useful components, it is necessary to calculate the reserves of gold, silver, cadmium, total sulfide and pyrite sulfur, rare and trace elements.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Концепция индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 201–2019 годы. Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2013 г. № 1497.
2. Государственная программа индустриально-инновационного развития на 2015–2019 годы. Утверждена Указом Президента Республики Казахстан 1 августа 2014 г. № 874.
3. Комплексный план по развитию горно-металлургической промышленности РК на 2014–2018 годы. Утвержден постановлением Правительства Республики Казахстан от 28 мая 2014 года № 568.
4. Программа геологоразведочных работ на 2015–2019 годы. Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 21 мая 2014 года № 526.
5. План развития разработки редких и редкоземельных металлов в Республике Казахстан на 2015–2019 годы. Утвержден постановлением Правительства Республики Казахстан от 26 ноября 2014 года № 1237.
6. Стратегический план развития Республики Казахстан до 2025 года. Утвержден Указом Президента Республики Казахстан от 15 февраля 2018 года № 636.
7. Прогноз социально-экономического развития Республики Казахстан на 2017–2021 годы. Одобрено на заседании Правительства Республики Казахстан (протокол № 29 от 31 августа 2016 года).
8. Отчет о научно-исследовательской работе по теме 6-10-68 “Исследование физико-механических свойств и геомеханических параметров пород и руд для расчета безопасных параметров выемочных единиц подземной отработки на месторождении Кусмурын (подземный способ отработки)”. РГП “Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан” – Усть-Каменогорск, 2011. – 51 с.
9. Отчет о выполненных геологоразведочных работах на месторождении Кусмурын в 2010–2012 гг. ТОО “Корпорация Казахмыс”; ТОО “Казахмыс Эксплорэйшн” – Караганда, 2013. – 53 с.

**REFERENCES**

1. Kontsepsiya industrialno-innovatsionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 201–2019 gody. Utverzhdena postanovleniem Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 31 dekabrya 2013 g. № 1497. [Conception of industrial-innovative development of the Republic of Kazakhstan for 2015–2019. Approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan on December 31, 2013 No. 1497.] (In Russian).
2. Gosudarstvennaya programma industrialno-innovatsionnogo razvitiya na 2015–2019 gody. Utverzhdena Ukazom Prezidenta Respubliki Kazakhstan 1 avgusta 2014 g. №874. [State program of industrial and innovative development for 2015–2019. Approved by Decree of the President of the Republic of Kazakhstan on August 1, 2014 No. 874.] (In Russian).
3. Kompleksnyy plan po razvitiyu gorno-metallurgicheskoy promyshlennosti RK na 2014–2018 gody. Utverzhden postanovleniem Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 28 maya 2014 goda № 568. [Comprehensive plan for the development of the mining and metallurgical industry of the Republic of Kazakhstan for 2014–2018. Approved by the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan on May 28, 2014 No. 568.] (In Russian).
4. Programma geologorazvedochnykh rabot na 2015–2019 gody. Utverzhdena postanovleniem Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 21 maya 2014 goda № 526. [Exploration program for 2015–2019. Approved by the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan on May 21, 2014 No. 526.] (In Russian).
5. Plan razvitiya razrabotki redkih i redkozemelnykh metallov v Respublike Kazakhstan na 2015–2019 gody. Utverzhden postanovleniem Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 26 noyabrya 2014 goda №1237. [Plan of the development of rare and rare-earth metals in the Republic of Kazakhstan for 2015–2019. Approved by the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan on November 26, 2014 No. 1237.] (In Russian).
6. Strategicheskii plan razvitiya Respubliki Kazakhstan do 2025 goda. Utverzhden Ukazom Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 15 fevralya 2018 goda № 636. [Strategic plan for the development of the Republic of Kazakhstan until 2025. Approved by the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan on February 15, 2018 No. 636.] (In Russian).
7. Prognoz sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2017–2021 gody. Odobren na zasedanii Pravitelstva Respubliki Kazakhstan (protokol № 29 ot 31 avgusta 2016 goda). [Forecast of socio-economic development of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021. Approved at the meeting of the Government of the Republic of Kazakhstan (Protocol No. 29 of August 31, 2016)] (In Russian).
8. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme 6-10-68 “Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv i geomekhanicheskikh parametrov porod i rud dlya rascheta bezopasnykh parametrov vyemochnykh edinit podzemnoy otrabotki na mestorozhdenii Kuzmuryin (podzemnyy sposob otrabotki). RGP “Natsionalnyy tsentr po kompleksnoy pererabotke mineralnogo syrya Respubliki Kazakhstan” [Report of the research work according to subject 6-10-68 “Studying physical and mechanical properties and geomechanical parameters of rocks and ores for calculating safe parameters of excavation units in underground processing in the Kuzmuryin field (underground treatment). RSE “National Center for Integrated Mineral Resources Processing of the Republic of Kazakhstan” – Ust-Kamenogorsk: 2011. – 51 p. (In Russian).
9. Otchet o vyipolnennykh geologorazvedochnykh rabotah na mestorozhdenii Kuzmuryin v 2010–2012 gg. TOO “Korporatsiya Kazahmyis”; TOO “Kazahmyis Eksploryeshn” [Report of the completed exploration work in the Kuzmuryin field in 2010–2012. Kazakhmys Corporation LLP. Kazakhmys Exploration LLP.] – Karaganda, 2013. – 53 p. (In Russian).

Р у к о п и с о т р и м а н о 2.04.2019.

УДК 622.22.553.4:519.85

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>

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

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

**О. П. КАЛІУЩЕНКО**, заступник директора із загальних питань Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України, <https://orcid.org/0000-0003-1077-0407>

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

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

**O. KALIUSHCHENKO**, Deputy Director General (Institute of Physics of the Mining Processes of National Academy of Sciences of Ukraine), <https://orcid.org/0000-0003-1077-0407>

## РОЗРОБЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СЦЕНАРІЇВ ЕФЕКТИВНОГО ОСВОЄННЯ ЦІННИХ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

## ELABORATION OF ENVIRONMENTAL SCENARIOS FOR THE EFFECTIVE DEVELOPMENT OF VALUABLE MINERAL DEPOSITS

Мета цієї праці полягає в демонстрації можливостей розроблення економічних та екологічних сценаріїв розвитку територій із забруднювальним виробництвом. Установлено, що для планування ефективного освоєння родовищ, незалежно від виду корисної копалини, може бути запропонована модель зміни стану запасів копалини від балансових до кінцевої продукції. Альтернативні оптимальні варіанти сценаріїв освоєння запасів родовища корисної копалини показано на прикладі аналізу показників реального невеликого золоторудного родовища, обґрунтовано вартість екологічно безпечного виробництва кінцевої продукції під час видобутку золотоносної руди.

**Ключові слова:** сценарій освоєння, цінні родовища, екологія, раціональне природокористування, оптимальна стратегія, динамічне програмування, комп'ютерні програми.

The aim of this paper is to develop and validate methods of choosing the means of valuable mineral deposits. This paper describes a methodology for assessing deposits from both an economic and an environmental point of view. This article analyses existing methods of optimizing processes in mining. It is necessary to carry out not only economic but also environmental assessment. It was established that the effectiveness of the performance map of valuable mineral deposits is formed by a group of technological, ecological, operational, and environmental assessment which can be represented as a vector of solutions. To find the optimal solution, it was suggested to use network models and graphs. The essence of the technique is to represent the input and output (production level, prime cost) resource flows in an organized structure. Regularities of forming technological schemes of valuable mineral deposits operation with a given level of performance, taking into account the relationship between technological parameters of mineral deposits, operational parameters of the ecological parameter's, equipment, technical and economic performance are defined. We developed the system for decision-making support, which allows optimizing operational parameters, reducing the production prime cost, and selecting the structure of the production cycle with a specified level of performance. This paper describes approaches that can be used at the design stage of valuable mineral deposits and in the process of operation.

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

**Вступ.** Наша незалежна держава має багаті надра, які, зокрема, містять понад два десятки видів корисних копалин, що мають велике значення для економіки країни. Але стратегічної сировини в Україні, зокрема рідкісних і благородних металів, нині не добувають. Тож на сучасному етапі розвитку держави цьому питанню треба надати належної уваги.

Найбільші запаси золота розміщені в родовищах Закарпатської (Мужіївське), Кіровоградської (Клиніцьке, Юріївське), Одеської (Майське) і Дніпропетровської областей (Сергіївське, Балка золота, Балка широка). Проте на сьогодні жодне із цих родовищ з різних причин не освоєне належним чином. Запаси золота в країні є, а їхнього ефективного освоєння немає.

Водночас на тлі кризи в золотодобуванні геологи отримують позитивні результати в оцінці нових родовищ золота та наголошують на перспективності подальших геологорозвідувальних робіт у Рахівському рудному районі. Таким чином, дослідження в напрямі розв'язання проблем ефективного видобутку з надр цінних корисних копалин є дуже актуальними.

Зазначимо, що ефективне освоєння цінних родовищ корисних копалин обов'язково має враховувати можливі варіанти економічних та екологічних сценаріїв розвитку територій, адже, окрім оцінки доцільності застосування технології, треба зважати на вплив на довкілля. Застосування еколого-економічної оцінки через побудову сценаріїв освоєння родовищ забезпечує раціональне природокористування.

Особливістю ефективного освоєння запасів рідкісних і благородних металів є потреба організації раціональної експлуатації рудних родовищ на засадах вирішення багатьох питань, не пов'язаних безпосередньо з гірничими роботами. Для освоєння родовищ корисних копалин з найменшими витратами, мінімально можливим збитком і максимальним прибутком потрібна узгоджена взаємодія в межах екологічних норм будівництва, видобутку, транспортування і перероблення як ланок однієї системи, яка працює на кінцевий результат у вигляді ринкового товару.

Усі особливості такої системи можна зобразити в моделі стану запасів родовища під час його експлуатації. Оцінити її зробити вибір у різних гірничо-геологічних, територіальних

і соціальних умовах з огляду на велике різноманіття форм рудних тіл і високу цінність корисної копалини можна на основі динамічного програмування [8]. Перший досвід вирішення завдань з вибору оптимальних стратегій освоєння родовищ рідкісних і благородних металів на основі динамічного програмування описано в праці автора цієї статті [2], яка нострифікована в Україні 2002 року.

**Основні дослідження і публікації.** Під час моделювання зміни стану запасів родовища на кожному етапі виробничого процесу треба ухвалювати оптимальне рішення щодо обґрунтування раціональних параметрів експлуатації, які полягають не тільки в зменшенні собівартості видобутку, але й мінімізації негативного впливу на довкілля.

Нині для ухвалення рішень щодо вибору оптимальної стратегії освоєння родовищ застосовують неформальні (евристичні методи), такі як АНР [7], його різновиди Fuzzy-АНР [14], TOPSIS [17], TODIM [9], PROMETHEE [20], ELECTRE, VI-KOR [18] та кількісні методи: динамічне програмування [16], критерії ухвалення рішень в умовах невизначеності [12], лінійне програмування [11], імітаційне моделювання [10], теорію ігор [6]. Водночас застосування неформальних методів [7, 9, 14, 17, 18, 20] ґрунтується на порівнянні альтернатив (за допомогою формальних оцінок “переваг”) між собою для визначення найбільш “впливового” критерію, який треба оптимізувати. Тобто внаслідок проведеного аналізу дістають розподіл критеріїв за рівнем впливу на кінцевий результат, але є ймовірність вибору неефективних рішень, адже ефективність залежить від досвіду проектувальника. Тому, на наше переконання, варто застосовувати кількісні методи [6, 10–12, 16], які дають змогу ухвалити єдине оптимальне рішення та не залежать від досвіду проектувальника. Окрім цього, в умовах систематичного недофінансування галузі першочерговими мають бути завдання, пов’язані зі стабілізацією та поступовим збільшенням обсягів видобутку, що без зменшення собівартості неможливо. Також під час розроблення золоторудних родовищ ідеться про техногенний вплив на довкілля, до того ж добувне виробництво може розміщуватися в районах, цінних з погляду біологічного різноманіття, рекреаційних зонах, тому лише комплексна оцінка дасть змогу ухвалити рішення про доцільність видобутку. Варто зазначити, що екологічному аспекту освоєння родовищ присвячено низку праць [13, 15, 19], однак родовища оцінюють за рівнем негативного впливу вже в процесі розроблення, коли можна лише мінімізувати шкоду.

Репрезентована праця відрізняється від праць інших авторів [6, 7, 9–20] тим, що в ній запропоновано комплексний підхід щодо освоєння родовищ. Ідея полягає в представленні структури виробничого процесу у вигляді мережевої моделі, яка зображує етапи розроблення родовищ – від пошуку до списання запасів з балансу. Застосування методів динамічного програмування дає змогу отримати оптимальне рішення на кожному з етапів, водночас пошук може відбуватися як в прямому порядку (від пошуку до отримання продукції та списання запасів), так і у зворотному. Заслугує на увагу і той факт, що, окрім економічного сценарію, будується й екологічний. Таким чином, розроблення наукових основ раціоналізації параметрів розроблення родовищ є актуальним науково-практичним завданням.

**Формулювання мети.** Мета роботи полягає в розробленні підходів з раціоналізації параметрів розроблення цінних родовищ корисних копалин України щодо мінімізації собівартості видобутку та негативного впливу на довкілля. Ідея полягає в зображенні структури родовища та етапів його освоєння у вигляді декомпозиційної системи з формалізаці-

єю завдань на кожному з етапів. Для ухвалення оптимальних рішень застосовано алгоритми динамічного програмування.

Динамічне програмування дає змогу вирішувати завдання, які виникають під час оптимізації, у набагато коротші терміни, ніж поваріантні розрахунки. Логічною основою методу є принцип оптимуму Р. Беллмана [1] про те, що рішення, яке ухвалюється на кожному етапі, має бути найліпшим стосовно процесу загалом. Незалежно від передісторії процесу, його станів і рішень, ухвалених раніше, усі рішення, котрі впливають на подальші етапи, з погляду цього етапу мають бути оптимальними. Під час розподілу процесу на етапи обов’язковою умовою є заборона на переривання матеріального потоку. Кажучи іншими словами, початковий стан матеріалів на певному етапі має точно відповідати кінцевому стану попереднього етапу. Тож будь-яка зміна має відбуватися в межах певного етапу, а не в проміжку між ними.

**Викладення основного змісту.** Перш ніж ухвалювати конкретні технічні рішення, проектувати й запроваджувати будь-які технології з видобутку й перероблення корисних копалин, треба зіставити й проаналізувати можливості розробника та показники родовища. З одного боку, власник як суб’єкт права на користування надрами окреслює можливості з фінансування трудових і матеріальних ресурсів. З іншого боку, проводиться аналіз об’єкта розроблення щодо цінності вилученої з надр сировини, ступеня освоєння території, можливості перероблення і збуту продукції. На цьому матеріалі можна обґрунтувати формат простору проектування з параметрами, які можуть забезпечити раціональну експлуатацію родовища.

Запропонований підхід до планування ефективного освоєння родовищ можна застосовувати незалежно від виду корисної копалини. У цьому сенсі найпоказовішими є результати досліджень проблем експлуатації родовищ під час вилучення з надр особливо цінних корисних копалин [3, 5].

Отже, процес за весь період освоєння конкретного родовища треба уявити у вигляді декомпозиційної системи з формалізацією завдань на окремих етапах зміни стану запасів корисних копалин від балансів до добутих з подальшим списанням запасів з балансу.

Модель такого процесу може бути побудована у вигляді альтернативного графа, в якому логічно пов’язані варіанти спорудження та експлуатації об’єктів енергопостачання, транспорту, побутового, поверхневого й підземного комплексів гірничозбагачувального підприємства з видобутку. Дуги графа представлені числовими значеннями витрат або формалізацією виробничих процесів керівними параметрами. На рис. 1 зображений граф з 37 вузлами. Кожна дуга  $(i, j)$  має свою довжину  $t_{ij}$ . У спрямованому ациклічному графові можна помітити вузли цілими числами від 1 до  $N$  у такий спосіб, що для кожної дуги  $(i, j)$  справедлива нерівність  $(i < j)$ .

Пошук оптимального рішення полягає у знаходженні найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла 37. Нехай  $f_i$  – довжина найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла  $i$ , тоді  $f_i = 0$ . З визначення  $f_i$  також випливає, що  $f_i + t_{ij}$  – довжина найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла  $j$  за умови, що останньою дугою шляху є дуга  $(i, j)$ .

Обов’язкова умова динамічного програмування – безперервність процесу, що оптимізується, тому в цьому разі прийнято поетапну зміну стану проектних балансів запасів. Освоєння золоторудного родовища охоплює щонайменше дванадцять етапів [2], які представлені графом на рис. 1: запаси затверджені й передані на баланс підприємства; запаси в стані забезпеченості трудовими ресурсами; запаси в стані

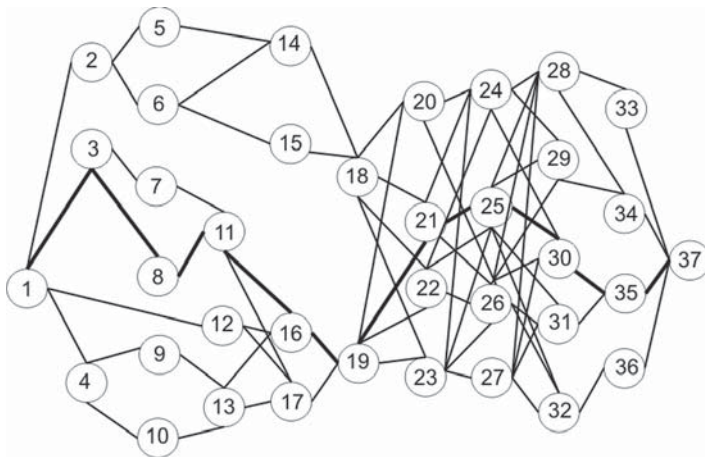


Рис. 1. Альтернативний граф визначення стратегії освоєння золоторудного родовища. 1–37 – вузли

забезпеченості транспортним сполученням; запаси в стані забезпеченості непромисловими об'єктами; запаси в стані енергоозброєності; запаси в стані забезпеченості промисловими об'єктами; запаси в стані розкриття; запаси в стані вилучення з надр; запаси в стані переміщення; запаси в стані перероблення на збагачувальній фабриці; запаси в стані металу (концентрат); запаси, списані з балансу.

Сенс логічних переміщень описаний табличним варіантом у праці [3] у вигляді витрат на виконання альтернативних процесів з моменту затвердження й передання запасів на баланс підприємства до списання запасів з балансу. Найкоротший шлях від вузла 1 до вузла  $j$  має містити деяку дугу як кінцеву і тому [5]

$$f_i = \min_{i(i,j)} (f_i + t_{ij}). \quad (1)$$

Якщо дуга виходить з вузла  $i$  та входить у вузол  $j$ , то її позначають як  $(i, j)$ . Для всіх дуг, що входять у вузол  $j$ , має місце нерівність  $(i < j)$ . Це означає, що вираз (1) використовують для обчислень  $f_i$  при  $j=2, 3, \dots, 37$ . Замість того, щоб розв'язувати задачу безпосередньо, її було розв'язано в категорії завдань про найкоротший шлях, а саме обчислення  $f_i$  для усіх  $j$ . Така особливість характерна фактично для кожної моделі багатокрокового процесу.

З оптимізацією моделі освоєння родовища, окрім принципу оптимуму Р. Беллмана, потрібно виконувати додаткові вимоги:

- під час переходу з етапу на етап треба враховувати тільки зв'язки – поєднання логічно або технологічно сумісних реальних варіантів;

- на всіх етапах процесу отримання кінцевої продукції діють параметри, які встановлює одне відомство.

Принцип оптимальності для нашого завдання: підшлях найкоротшого шляху сам є найкоротшим шляхом. Універсальніший варіант принципу охоплює поняття стратегії.

Стратегія визначає дугу  $(i, j)$ , що входить у кожний з вузлів  $j$ , окрім першого ( $j=1$ ), є безліч стратегій для цієї ациклічної мережі. Стратегію називають оптимальною для вузла  $j$ , якщо вона виявляє дуги, які утворюють найкоротший шлях від вузла 1 до вузла  $j$ . Оптимальна стратегія характеризує оптимальний сценарій освоєння родовища. На графі рис. 1, що описує процес освоєння конкретного золоторудного родовища [4], оптимальний шлях найліпших варіантів на всіх етапах зміни стану запасів виділений стовпцевою лінією: 1–3–8–11–16–19–21–25–30–35–37.

У праці [4] на прикладі оцінки родовищ рідкісних і благородних металів рекомендовано порядок техніко-економічного обґрунтування залучення до розроблення родовищ

корисних копалин. Алгоритм розрахунків із залученням спеціалізованих комп'ютерних програм такий:

- визначають техніко-економічні показники видобутку руди в цих умовах;

- за розрахунковими показниками експлуатації родовищ і середньої по гірничозбагачувальному комбінату собівартості видобутку, транспортування й перероблення руди визначають кадастрову цінність родовища, що виражається сумою коштів, банківський відсоток з яких за рік становить дохід величиною з очікуваний від розроблення родовища річний прибуток з урахуванням відсотків за кредит і встановленої плати за фонди;

- з отриманих пріоритетів щодо кадастрової цінності та можливих варіантів ухвалення рішень на етапах освоєння родовищ будують альтернативні графи визначення стратегій освоєння конкретних родовищ;

- розраховують значення дуг в альтернативних графах;
- за спеціалізованими програмами динамічного програмування на максимум і мінімум виявляють оптимальні способи і стратегії, які відповідають оптимальним витратам на видобуток, транспортування й перероблення сировини під час освоєння родовищ;
- перераховують кадастрову цінність родовища з огляду на оптимізацію повної собівартості 1 т руди і визначають порядок залучення до експлуатації цих родовищ.

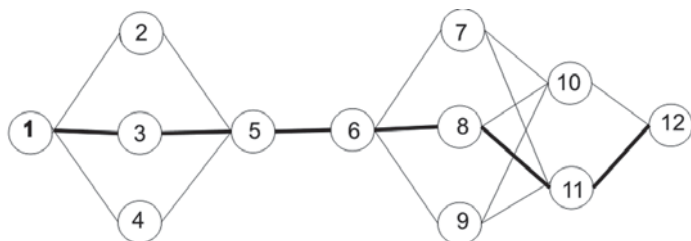
Запропонований підхід дає змогу обґрунтовувати сферу ефективної експлуатації з боку альтернативних розробників з різними правами на користування надрами й різними фінансовими можливостями, трудовими та матеріальними ресурсами, а також проводити геолого-економічну переоцінку запасів родовищ, перспективних для інвестицій. Завдяки багатократним варіантним розрахункам можна обґрунтувати зміну кондицій.

Нині в цивілізованих країнах усе частіше як головний критерій для ухвалення рішень під час освоєння ресурсів надр на перше місце виходить екологічний аспект. Потенціал розвитку досліджень у напрямі оптимізації мережевих моделей достатній для економічної оцінки екологічного аспекту освоєння родовищ корисних копалин. Процедура такої оцінки полягає у фінансовому порівнянні двох сценаріїв освоєння – оптимального з економічного погляду та екологічно безпечного. Реалізувати процедуру порівняння цих варіантів можна буде на базі методології моделювання процесу освоєння родовища на всіх етапах отримання кінцевої продукції за економічними показниками (мінімальна собівартість, прибуток) і моделювання процесу освоєння родовища з огляду на екологічні переваги на всіх етапах розроблення і збагачення копалини.

Як ілюстрації альтернативних оптимальних варіантів економічного та екологічного сценаріїв освоєння запасів родовища корисної копалини показані приклади аналізу показників освоєння реального невеликого золоторудного родовища, які наведені в праці [4]. Увесь процес освоєння невеликого золоторудного родовища був розбитий на етапи: енергопостачання, транспортне сполучення, забезпечення промисловими об'єктами, видобуток, транспорт і збагачення руди. На рис. 2 представлений альтернативний граф сценарію освоєння такого родовища з 12 вершинами і 18 дугами.

Вхідні дані для пошуку найкоротшого шляху в спрямованому ациклічному графі складаються з переліку початкових вершин П, кінцевих – JJ і елементів підмножини Т (значень дуг у вигляді витрат в умовних одиницях на 1 т видобутку, транспортування і перероблення) множини SS: П – JJ – Т; 2 – 1 – 69,00; 3 – 1 – 88,21; 4 – 1 – 88,21; 5 – 2 – 55,17; 5 – 3 – 72,1; 5 – 4 – 41,57; 6 – 5 – 70,00; 7 – 6 – 3,90; 8 – 6 – 3,90; 9 – 6 – 3,90; 10 – 7 – 0,36; 10 – 8 – 0,03; 10 – 9 – 0,27; 11 – 7 – 0,36; 11 – 8 – 0,03;





**Рис. 2.** Альтернативний граф визначення економічної стратегії освоєння невеликого золоторудного родовища. 1–12 – вузли 11 – 9 – 0,27; 12 – 10 – 45,23; 12 – 11 – 4,03. Результати розрахунку наведено на рис. 3.

Оптимальний шлях: 1-3-5-6-8-11-12, на рис. 3 виділений стовщеною лінією. Довжина маршруту становить 173,63 у. о.

Як приклад побудови альтернативного варіанта сценарію освоєння запасів невеликого родовища золота на рис. 4 наведений граф визначення екологічної стратегії освоєння раніше запропонованого родовища.

Представлений граф відрізняється від опублікованих раніше варіантів графічних сценаріїв, по-перше, додатковим етапом, який утілюється після затвердження запасів і передання їх на баланс підприємства, а в сучасних українських умовах після надання спеціальних дозволів на користування надрами за результатами аукціонних торгів. У разі їхнього надання без проведення аукціону визначальною є початкова ціна продажу такого дозволу, яку розраховують згідно з вартістю запасів і ресурсів корисних копалин або ділянок надр відповідно до чинних нормативів.

По-друге, вершини графа на всіх етапах освоєння родовища марковані відповідно до екологічної переваги з погляду незалежної експертизи. Оцінку екологічних переваг демонструє зміна кольору вузлів графа відповідно до рейтингу барв веселки (червоний, помаранчевий, жовтий, зелений).

Новий етап 0-1 процесу освоєння запасів родовища характеризується додатковою процедурою зміни стану запасів, яка охоплює попереднє моделювання всього сценарію освоєння родовища від початку до отримання кінцевого продукту для аналізу пріоритетів з кадастрової цінності та можливих варіантів ухвалення рішень на етапах освоєння, зокрема з огляду на екологічні переваги.

Оптимальний шлях другого варіанта: 0–1a–3–5–6–7–10–12, на рис. 4 виділений стовщеною лінією. Довжина маршруту становить 10,74+214,95=225,69 у. о. Альтернативний варіант освоєння родовища відрізняється, окрім додаткового нульового етапу, ще переробленням сировини на новій збагачувальній фабриці з повним виконанням екологічних нормативів. Фінансова різниця між економічним та екологічним сценаріями становить 52,06 у. о. витрат на 1 т видобутку, транспортування і перероблення.

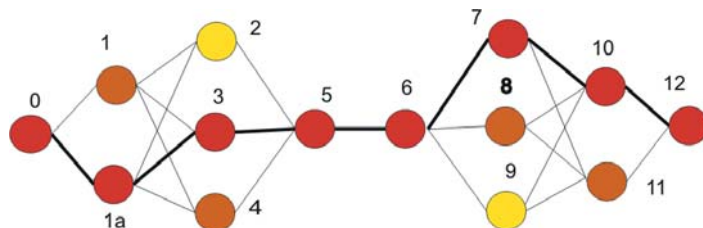
JJ	II	T	Min	Fi
2	1	69.00	0.00	69.00
3	1	88.21	0.00	88.21
4	1	88.21	0.00	88.21
5	2	55.17	69.00	122.38
5	3	7.21	88.21	95.67
5	4	41.57	88.21	129.70
6	5	70.00	95.67	165.67
7	6	3.90	165.67	169.57
8	6	3.90	165.67	169.57
9	6	3.90	165.67	169.57
10	7	0.36	169.57	169.57
10	8	0.03	3.90	173.47
10	9	0.27	0.27	173.70
11	7	0.36	169.57	169.57
11	8	0.03	3.90	173.47
11	9	0.27	0.27	173.70
12	10	45.23	169.60	214.83
12	11	4.03	169.60	173.73

**Рис. 3.** Результати розрахунків процесу пошуку економічної стратегії освоєння родовища

Нині в Інституті фізики гірничих процесів НАН України розробляють програмне забезпечення щодо втілення алгоритмів динамічного програмування на мережкових моделях. Створено прототип, який реалізує алгоритм Беллмана-Форда за допомогою команд (рис. 5), надалі буде створено візуалізатор і систему звітів.

Під час вибору варіанта освоєння родовища проводять як економічну, так і екологічну оцінку. Водночас не завжди оптимальна альтернатива з погляду собівартості готової продукції або продуктивності може бути ліпшою з погляду екології. Перевагу варто віддавати безпечнішій технології, тому що завжди можливі сценарії, за яких попит на корисні копалини падатиме.

Подання можливих варіантів відпрацювання родовищ у вигляді мережових моделі дає змогу в наочному й компактному вигляді представити інформацію про характеристики родовища, технологічний цикл отримання кінцевої продукції, витрати на отримання кінцевої продукції, а запропоновані засоби підтримки ухвалення рішень у вигляді програмного забезпечення дають змогу підвищити розмірність задач, зва-



**Рис. 4.** Альтернативний граф визначення екологічної стратегії освоєння невеликого золоторудного родовища. 0–12 – вузли

```
File Edit Shell Debug Options Window Help
Distance to 9: inf
Distance to 10: inf
Distance to 11: inf
Distance to 12: inf

What would you like to do? bellman-ford12
What would you like to do? bellman-ford 12
Distances from 12:
Distance to 1: 213
Distance to 2: 175
Distance to 3: 125
Distance to 4: 162
Distance to 5: 120
Distance to 6: 50
Distance to 7: 47
Distance to 8: 46
Distance to 9: inf
Distance to 10: 45
Distance to 11: 4
Distance to 12: 0

What would you like to do? display
Vertices: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Edges:
(src=2, dest=1, weight=69)
(src=3, dest=1, weight=88)
(src=4, dest=1, weight=88)
(src=5, dest=2, weight=55)
(src=5, dest=3, weight=5)
(src=5, dest=4, weight=42)
(src=6, dest=5, weight=70)
(src=7, dest=6, weight=4)
(src=8, dest=6, weight=4)
(src=9, dest=6, weight=4)
(src=10, dest=7, weight=2)
(src=10, dest=8, weight=1)
(src=12, dest=10, weight=45)
(src=12, dest=11, weight=4) |
```

**Рис. 5.** Фрагмент програми реалізації алгоритму Беллмана-Форда

жаючи на детермінований характер формування рівня продуктивності.

**Висновки.** Унаслідок дослідження запропоновано новий спосіб розроблення екологічних сценаріїв розвитку територій, який полягає в оптимізації мережевих моделей, що відповідають екологічним стратегіям освоєння родовищ корисних копалин з огляду на вироблення кінцевої продукції. Для цього розроблено модель зміни стану запасів родовища від стадії розвідки до списання запасів з балансу, а також проведено економічну оцінку, зважаючи на екологічний аспект освоєння родовищ. На відміну від економічних сценаріїв освоєння родовища врахування екологічних вимог передбачає рейтингову оцінку техногенної небезпеки для довкілля кожного етапу, що дає змогу оцінити не тільки диск, але й ризики виробництва. Алгоритмічний опис процесу керування станом запасів родовищ та форма представлення результатів дають змогу запровадити описані методи у виробництво, водночас родовище розглянуто не як окремий об'єкт, а як проміжну ланку в процесі отримання кінцевої продукції. Крім того, послідовність пошуку оптимального рішення можна розглядати як від початку освоєння родовища до стадії отримання кінцевої продукції, так і у зворотному напрямку.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965.
2. Гринева В. Г. Оценка и выбор рациональных параметров подземной разработки рудных месторождений Якутии. Автореф. ... докт. техн. наук. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 1993. – 43 с.
3. Гринева В. Г. Решение проблем разработки рудных месторождений Севера. – Новосибирск: ВО "Наука", 1992. – 205 с.
4. Гринева В. Г., Изаксон В. Ю., Зубков В. П. Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 215 с.
5. Шварц В. Динамическое программирование на примере оптимизации технологии выплавки медной руды/Пер. с нем./Erzmetall. – 1968. – № 10.
6. Amankwah H. Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining. 2011. Ph.D. Linköping University.
7. Ataei M., Jamshidi M., Sereshki F., Jalali I. S. M. E. Mining method selection by AHP approach. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2008, 108(12), 741–749.
8. Daskin M. S. Network and discrete location: models, algorithms, and applications. John Wiley & Sons, 2013, <https://doi.org/10.1002/9781118537015>.
9. Dehghani H., Siami A., Haghi P. A new model for mining method selection based on grey and TODIM methods. Journal of Mining & Environment. 2017, 8(1), 49–60, doi: 10.22044/jme.2016.626.
10. Fioroni M., Santos Letícia C., Franzese L., Seixas J., Penna B., Alkmim G. Logistic evaluation of an underground mine using simulation. Rem: Revista Escola de Minas, 2014. 67(4), 447–454. <https://dx.doi.org/10.1590/0370-44672014670181>.
11. Guang X., Jinxin H., Baisheng N., Chalmers D., Zhuoming Y. Calibration of Mine Ventilation Network Models Using the Non-Linear Optimization Algorithm. Energy, 2017, 31(11), 11–19, <https://doi.org/10.3390/en11010031>.
12. Hurwicz L. (1995). What is the Coase Theorem? Japan and the World Economy, 7(1), 49–74.
13. Imanberdieva N., Chukunkyzy N., Severoglu Z., Kulenbekov Z. Ecology and Environmental Aspects of "Makmalzoloto" Gold Mining Area in Kyrgyzstan. In: Vegetation of Central Asia and Environs. Springer, Cham, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_13).
14. Iphar M., Alpay S. A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2018, 126(3), 69–77, <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1467655>.
15. Karabyn V., Shtain B., Popovych V. Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences, 2018, 429(3), 64–74.
16. Kellerer H., Pferschy U. and Pisinger D. Knapsack Problems – Springer Science+Business Media, 2004. 548 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-24777-7>.
17. Mikaeil R., Naghadehi M., Ataei M., Khalokakaie R. A decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method. Archives of Mining Sciences, 2009, 54(2), 349–368.
18. Opricovic S., Tzeng G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European Journal of Operational Research, 2007, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>.
19. Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. Proc. SPIE 10783, 107830P. Event SPIE. Remote Sensing, Berling, Germany (10 October 2018). <https://doi.org/10.1117/12.2501928>.
20. Tzeng G., Huang J. Multiple attribute decision making: Methods and applications. 2011, Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.
21. TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method. Archives of Mining Sciences, 2009, 54(2), 349–368.
22. Opricovic S., Tzeng G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European Journal of Operational Research, 2007, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>.
23. Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. Proc. SPIE 10783, 107830P. Event SPIE. Remote Sensing, Berling, Germany (10 October 2018). <https://doi.org/10.1117/12.2501928>.
24. Tzeng G., Huang J. Multiple attribute decision making: Methods and applications. 2011, Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.

#### REFERENCES

1. Bellman R., Dreyfus S. Applied Dynamic Programming. – Moskva: Nauka, 1965. (In Russian).
2. Grinev V. G. Evaluation and selection of rational parameters of underground mining of ore deposits of Yakutia. Dr. tech. Science. – Novosibirsk: IGD SO RAN, 1993. – 43 p. (In Russian).
3. Grinev V. G. Solution of the problems of the development of ore deposits of the North. – Novosibirsk: Nauka, 1992. – 205 p. (In Russian).
4. Grinev V. G., Izakson V. Yu., Zubkov V. P. The solution of mountain problems on a computer during the development of ore deposits. – Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing Company of the Russian Academy of Sciences, 1999. – 215 p. (In Russian).
5. Shwarc V. Dynamic programming on the example of copper ore smelting technology optimization/Erzmetall. – 1968. – № 10. (In Russian).
6. Amankwah H. Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining. 2011. Ph.D. Linköping University.
7. Ataei M., Jamshidi M., Sereshki F., Jalali I. S. M. E. Mining method selection by AHP approach. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2008, 108(12), 741–749.
8. Daskin M. S. Network and discrete location: models, algorithms, and applications. John Wiley & Sons, 2013, <https://doi.org/10.1002/9781118537015>.
9. Dehghani H., Siami A., Haghi P. A new model for mining method selection based on grey and TODIM methods. Journal of Mining & Environment. 2017, 8(1), 49–60, doi: 10.22044/jme.2016.626.
10. Fioroni M., Santos Letícia C., Franzese L., Seixas J., Penna B., Alkmim G. Logistic evaluation of an underground mine using simulation. Rem: Revista Escola de Minas, 2014. 67(4), 447–454. <https://dx.doi.org/10.1590/0370-44672014670181>.
11. Guang X., Jinxin H., Baisheng N., Chalmers D., Zhuoming Y. Calibration of Mine Ventilation Network Models Using the Non-Linear Optimization Algorithm. Energy, 2017, 31(11), 11–19, <https://doi.org/10.3390/en11010031>.
12. Hurwicz L. What is the Coase Theorem? Japan and the World Economy, 7(1), 1995. 49–74.
13. Imanberdieva N., Chukunkyzy N., Severoglu Z., Kulenbekov Z. Ecology and Environmental Aspects of "Makmalzoloto" Gold Mining Area in Kyrgyzstan. In: Vegetation of Central Asia and Environs. Springer, Cham, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_13).
14. Iphar M., Alpay S. A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2018, 126(3), 69–77, <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1467655>.
15. Karabyn V., Shtain B., Popovych V. Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences, 2018, 429(3), 64–74.
16. Kellerer H., Pferschy U. and Pisinger D. Knapsack Problems – Springer Science+Business Media, 2004. 548 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-24777-7>.
17. Mikaeil R., Naghadehi M., Ataei M., Khalokakaie R. A decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method. Archives of Mining Sciences, 2009, 54(2), 349–368.
18. Opricovic S., Tzeng G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European Journal of Operational Research, 2007, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>.
19. Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. Proc. SPIE 10783, 107830P. Event SPIE. Remote Sensing, Berling, Germany (10 October 2018). <https://doi.org/10.1117/12.2501928>.
20. Tzeng G., Huang J. Multiple attribute decision making: Methods and applications. 2011, Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.

Рукопис отримано 4.04.2019.

# 75 РОКІВ ННІ “ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЇ” КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА!

Напередодні Дня геолога 3 квітня 2019 року Навчально-науковий інститут (ННІ) “Інститут геології” Київського національного університету (КНУ) імені Тараса Шевченка відсвяткував 75-річний ювілей. Подія відбулася в актовому залі корпусу економічного факультету, де співробітників і студентів тепло вітали:

- ректор і проректор університету з наукової роботи,
- представники трьох інститутів НАН України та Українського державного геологорозвідувального інституту,
- декани двох факультетів КНУ,
- декани і директори трьох профільних факультетів інших ВНЗ України,
- керівники й представники 11 геологічних підприємств на чолі з головою Державної служби геології та надр України,
- представники двох громадських організацій,
- випускники геологічного факультету попередніх років.

Урочисту подію відкрив директор Інституту геології професор **Володимир Альбертович Михайлов**. У вітальному слові він зазначив, що історія розвитку геологічної науки в КНУ є набагато тривалішою, оскільки ще 1834 року на фізико-математичному відділенні філософського факультету було створено кафедру мінералогії та геогнозії. Геологічний факультет Київського університету засновано 1944 року. А п'ять років тому факультет реорганізовано в Навчально-науковий інститут “Інститут геології”.

За 75 років функціонування та розвитку геологічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка підготував і випустив десятки тисяч фахівців геологорозвідувальної галузі. Вони працюють на всіх континентах світу – в Америці, Азії, Європі, Африці, Австралії. Безумовно, усі вони підтримують тісні, дружні відносини зі своєю Alma mater.

Ректор КНУ імені Тараса Шевченка **Леонід Васильович Губерський**, вітаючи колектив Інституту й геологів усіх поколінь, зазначив: “Сьогодні нашої державі вкрай потрібні знання, навички та вміння наших геологів. Тому треба робити все можливе для того, щоб розвинути геологічну галузь, над чим, із притаманним геологам ентузіазмом, не припиняє працювати колектив Інституту впродовж усієї своєї історії”.

За сумлінну працю та з нагоди ювілею Інституту геології ректор відзначив таких співробітників навчального закладу:

**Відзнакою вченої ради:** *Сергія Вижву та Володимира Михайлова.*

**Грамотою:** *Олександра Дубину, Олександра Менишова та Дмитра Чомку.*

**Подяками ректора:** *Віктора Нестеровського, Всеволода Демидова, Олександра Андреева, Віталія Янченка, Галину Донченко, Олену Хлонь, Ірину Кошлякову, Олексія Бункевича, Наталію Петрову, Катерину Гадяцьку, Олександру Молоткову та Валентину Федан.*

Тепло привітали з ювілеєм співробітників Інституту геології академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України, директор Інституту геохімії та рудоутворення ім. М. П. Семенка НАН України, академік НАН України **Пономаренко Олександр Миколайович** (випускник геологічного факультету КДУ 1979 року), директор Інституту геофізики НАН України, академік НАН України **Старостенко Віталій Іванович** (випускник геологічного факультету КДУ 1958 року), директор Інституту геологічних наук НАН України, академік НАН України **Гожик Петро Феодосійович**, директор Українського державного геологорозвідувального інституту, професор **Гюшовський Сергій Володимирович** (випускник геологічного факультету КДУ 1972 року).



Привітати з ювілеєм колег також прийшли науковці й керівники понад 20 державних і приватних установ України, діяльність яких пов'язана з галуззю геології. Більшість гостей – випускники геологічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка, тож не дивно, що вітання чергувалися зі студентськими спогадами й побажаннями розвитку рідному факультетові.

За плідну співпрацю й високоякісну підготовку фахівців багатьох співробітників відзначено нагородами установ і громадських об'єднань.

**Медаллю та дипломом “Почесний геотоксиколог”** від товариства “Знання” нагороджено: *Володимира Михайлова, Дмитра Безродного, Івана Онищука, Ірину Лазареву, Віталія Зацерковного, Петра Крельштейна.*

**Почесною відзнакою – медаллю НАК “Нафтогаз України”** – нагороджено: *Володимира Михайлова, Сергія Вижву, Олексія Карпенка, Ірину Безродну, Івана Онищука.*

**Грамотою й подякою Державної служби геології та надр України** відзначили: *Олексія Кошлякова, Сергія Шнюкова, Володимира Шуньки, Марину Крочак, Віктора Онищука, Наталію Леоненко.*

**Медалями “За заслуги”** від Спілки геологів України нагороджено: *Ірину Безродну, Олексія Карпенка, Андрія Гужика, Дмитра Кравченка.*

Переповнений зал корпусу економічного факультету з утіхою зустрів концертну програму, де з музичними номерами виступили: студенти Інституту геології КНУ імені Тараса Шевченка й Коледжу геологорозвідувальних технологій, а також фольклорно-етнографічний ансамбль “Веснянка”, який створено 1958 року з ініціативи кандидата геолого-мінералогічних наук, випускника й доцента геологічного факультету **Володимира Миновича Нероденка**.

Відзначення ювілею не обмежилось лише врочистою подією та святковим концертом. Теплі зустрічі випускників геологічного факультету різних років тривали в холі й залі. **27 березня 2019 року** в Інституті геології відбувся ярмарок вакансій, **4 квітня** – спільне засідання деканів (директорів) геологічних і геолого-географічних факультетів (інститутів) ЗВО України, а **5 та 6 квітня** – Дні відкритих дверей для абітурієнтів і випускників Інституту геології.

**Гюшовський С. В., Шаталов М. М.** (випускники геологічного факультету КДУ 1972 та 1975 рр.)

За матеріалами ННІ “Інститут геології” та на основі особистих вражень <http://www.geol.univ.kiev.ua/ua/news/index.php?id=050419a>



mrugeo.ukrdgri.gov.ua



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

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 182 від 18.09.2000 р.  
Здано до набору 22.04.2019  
Підписано до друку 27.06.2019  
Формат 60x90 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>  
Папір крейдовий  
Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 6,5  
Обл.-вид. арк. 9. Тираж 300 прим.  
Зам. № 318

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