

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ВІДПРАЦЬОВАНИХ СОЛЯНИХ РОДОВИЩАХ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Багрій С.М., Новосільський М.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ
gbg2020@ukr.net, mar.novos.ua@gmail.com

Розглянуто екологічні проблеми територій Калуського, Стебницького та Солотвинського соляних родовищ Карпатського регіону та шляхи запровадження еколого-геологічного моніторингу в постмаїнінговий період. Видобуток калійної та кам'яної солі на Калуському родовищі здійснювався шахтним та кар'єрним способом, а на Стебницькому та Солотвинському тільки шахтним. Основними еколого-геологічними проблемами, які виникли після припинення виробництва калійної та кам'яної солі практично на всіх родовищах Карпатського регіону, є наступні. Гідрогеологічні – неконтрольоване наповнення Домбровського кар'єру на Калуському родовищі та забруднення підземних вод різними хімічними елементами на всіх родовищах. Гідромеханічні – контрольоване або неконтрольоване заповнення відпрацьованих шахтних полів ненасиченими розсолами з подальшим розчиненням міжкамерних циліків. Гідрологічні – забруднення поверхневих водотоків у межах басейнів рік Дністер і Тиса. Геомеханічні – осідання та провали земної поверхні, які утворюються на шахтних полях за рахунок наявності видобувних камер, деформацій гірничого масиву та розущільнення гірських порід. У відповідності до зазначених проблем сформульовані задачі та етапи екологічних досліджень у частині геологічних, геофізичних, гідрогеологічних та топогеодезичних спостережень та комплексного їх опрацювання. Як приклад наведено деталізований огляд геофізичних робіт та продемонстровано можливості геофізики на всіх етапах розв'язування тих чи інших еколого-геологічних задач. Результати еколого-геологічних моніторингових досліджень розглядаються як вихідні дані для формулювання заходів щодо запобігання надзвичайних ситуацій і прийняття управлінських проектних рішень та їх реалізації. *Ключові слова:* еколого-геологічний моніторинг, соляні родовища, забруднення підземних вод, режимні спостереження, геофізичні дослідження.

Environmental problems and results of their research at worked salt deposits in the Carpathian region, Bagriy S., Novosilskyi M.

The environmental problems of the Kalush, Stebnyk, and Solotvyno salt deposits of the Carpathian region, as well as approaches to implementing environmental–geological monitoring in the post-mining period, are examined. Potash and rock salt extraction at the Kalush deposit was carried out using both underground and open-pit methods, whereas at the Stebnyk and Solotvyno deposits it was conducted exclusively by underground mining. The principal environmental–geological problems that have arisen following the cessation of potash and rock salt production at virtually all deposits in the Carpathian region are as follows. **Hydrogeological:** uncontrolled flooding of the Dombrovskiy open pit at the Kalush deposit and contamination of groundwater by various chemical elements at all deposits. **Hydromechanical:** controlled or uncontrolled filling of mined-out underground workings with undersaturated brines, followed by dissolution of interchamber pillars. **Hydrological:** contamination of surface watercourses within the Dniester and Tisza river basins. **Geomechanical:** land subsidence and surface collapses occurring over mined areas due to the presence of extraction chambers, deformation of the rock mass, and loosening of rocks. In accordance with these issues, the objectives and stages of environmental investigations are formulated, including geological, geophysical, hydrogeological, and topographic–geodetic observations and their integrated processing. As an example, a detailed review of geophysical surveys is provided, demonstrating the capabilities of geophysics at all stages of solving various environmental–geological problems. The results of environmental–geological monitoring are considered as baseline data for developing measures aimed at preventing emergencies, as well as for supporting management and engineering decision-making and their implementation. *Key words:* ecological and geological monitoring; salt deposits; groundwater contamination; monitoring observations; geophysical surveys.

Актуальність дослідження. Карпатський регіон є єдиним басейном України, в якому розвідано значні поклади калійних і кам'яних солей: Калуське (Івано-Франківська обл.), Стебницьке (Львівська обл.) та Солотвинське (Закарпатська обл.) родовища. За різноманітністю і співвідношенням присутніх

тут соляних мінералів ці відклади є унікальними й не мають аналогів у світі. Видобуток та переробка калійно-магнієвих руд дозволяла до 2000 р. не лише забезпечувати власні потреби України комплексними сульфатними калійно-магнієвими добривами, а й експортувати їх на зовнішній ринок.



Однією з причин, які призвели до руйнації калійної промисловості, є неефективне вирішення екологічних проблем надрокористування, що виникли в процесі недосконалих технологій консервації та ліквідації гірничодобувного і переробного комплексу (збільшення площі гірничих робіт, вилучення солей і порід, втрата фільтраційної ізолюваності гірничого простору). Наприклад, при видобутку калійно-магнієвих руд на рудниках Калуша утворилось 17,5 млн. м³ пустот. На родовищі спостерігаються прориви до солепородного масиву прісних (агресивних) вод із поверхні, що призводить до порушення рівноваги надр з утворенням провальних воронки, карстових порожнин і деградації джерел господарсько-питного водопостачання.

Надзвичайна ситуація на території родовища кам'яної солі в смт. Солотвине проявилася у затопленні трьох діючих соляних шахт і утворенні величезних провалів на земній поверхні. Довготривала експлуатація покладів калійної солі на Стебницькому калійному родовищі камерним способом призвела до утворення штучних порожнин загальним об'ємом біля 13,5 млн. м³. Експлуатація рудників призвела до витоків розсолів у камери і до активізації карстових процесів, що супроводжується деформацією земної поверхні. У 1983 р. унаслідок прориву дамби хвостосховища та витоків близько 5 млн м³ високомінералізованих розсолів в р. Дністер було тимчасово припинено питне водопостачання м. Одеса. Наразі загроза забруднення джерел питного водопостачання басейну р. Тиса та Дністровського басейну істотною мірою визначається неконтрольованим затопленням шахт та витоків розсолів із концентрацією 60–450 г/дм³ у річкову мережу. Таким чином, у межах солевидобувного комплексу Карпатського регіону формується надзвичайна ситуація транскордонного характеру.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Карпатські соляні родовища не є винятком щодо розвитку природно-техногенного карсту. На значній кількості родовищ світу відзначалась невідповідність геологічних та гідрогеологічних моделей, покладених в основу проектних рішень, реальній ситуації. Огляд аварій на рудниках солі в Німеччині, Україні наведено у монографії [1]. Щодо соляних родовищ України, то окремі розрахункові схеми стійкості гірничих масивів із прогнозом аварій наведено насамперед у звітах із науково-дослідних робіт фахівців ТзОВ "Інститут "Гірхімпром" (Львів). Результативну частину цих звітів відображено в опублікованих працях [1, 2]. До цих робіт треба теж зарахувати необхідні дослідження щодо гідрогеологічних умов та деформації земної поверхні [4, 9]. Геофізичні методи дають змогу виокремити та вирішити окремі завдання, пов'язані із констатацією стану гірничого масиву на певних стадіях його деградації. [3, 5 – 8, 10 - 12].

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є окреслення шляхів запровадження еколого-ге-

ологічного моніторингу, як основи подальшого розроблення та реалізація науково-обґрунтованої системи заходів щодо нейтралізації екологічних загроз, які виникли внаслідок техногенно спричинених порушень геологічного середовища в процесі розроблення та постмайнінгу соляних родовищ Карпатського регіону та впровадження заходів щодо запобігання ураження геологічного середовища, забруднення підземних і поверхневих вод, погіршення сейсмогеофізичної стійкості солепородного масиву та об'єктів критичної інфраструктури.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розроблення та впровадження системи моніторингу деформації земної поверхні на території шахтних полів;
- режимні спостереження рівнів та хімічного складу підземних і поверхневих вод з метою прогнозування динаміки цих процесів;
- моделювання та прогнозування розвитку небезпечних еколого-геологічних процесів в зоні затоплення гірничо-добувних об'єктів соледобувного комплексу Карпатського регіону (шахт, кар'єру, дренажних споруд).

Наукова новизна результатів дослідження. Вперше розроблені наукові основи геоекологічного моніторингу, який базується на комплексі геологічних, геодезичних, гідрогеохімічних, гідрологічних та геофізичних методах дослідження навколишнього середовища на прикладі калійних родовищ Передкарпаття в постмайновий період.

Методологія дослідження. Методологія досліджень базується на комплексному аналізі даних геохімічних, геофізичних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних, гідрогеохімічних досліджень складу та показників стійкості геологічного середовища зі застосуванням геостатистичних та геоінформаційних технологій з позицій сталого розвитку та екологічної безпеки. Теоретичні узагальнення здійснюються на основі законів розвитку природи та суспільства за аналітичними результатами просторово-часового моніторингу стану природно-техногенних об'єктів довкілля.

При виконанні реалізовано наступні етапи досліджень:

- збір, верифікація та узагальнення даних попередніх досліджень у часовому розрізі з позицій хімічної термодинаміки;
- емпіричне обстеження інженерно-геотехнічного стану об'єктів критичної інфраструктури;
- гідрогеохімічне обстеження поверхневих водних об'єктів та надсолевих підземних водоносних горизонтів як джерел підземного стоку транскордонних річкових басейнів у моніторинговому режимі;
- геофізичні дослідження техногенних порушень солепородних масивів та ділянок формування і розвитку небезпечних геологічних процесів (деформації земної поверхні, карстові провали);

– просторово-часова оцінка змін геодинамічного стану геологічних структур методами дистанційного зондування землі;

– формування баз даних гідрогеохімічних, санітарно-гігієнічних показників якості води, геофізичних показників порушеності геологічного середовища з урахуванням власних результатів та попередніх досліджень;

– аналіз динаміки змін хімічного складу поверхневих і підземних вод у зоні техногенних порушень гідрогеофільтраційних полів з позицій хімічної кінетики та термодинаміки. Визначення параметрів швидкості міграції забруднюючих речовин;

– прогнозування обсягів розвантаження мінералізованих вод у транскордонний річковий стік рр. Дністра і Тиси. Геоінформаційний аналіз гідрогеохімічних даних. Прогнозування карстопровальних процесів та деформацій земної поверхні за даними геолого-геофізичних досліджень та геодезичних спостережень.

Результати досліджень. Усі три зазначені вище соляні родовища розташовані в західній частині України (рис. 1). За віком соляні поклади є неогенові. Розвідані на глибину 600 м. Вміщуючі

є теригенні породи: пісковики, аргіліти, алевроліти та глини.

Розглянемо наявні результати по територіях окремих родовищ у відповідності до сформульованих проблем. При цьому зазначимо, що на даний час обґрунтовані методи вирішення еколого-геологічних задач для кожного об'єкта кожного гірничопромислового району (ГПР) та сформульовані основні отримані результати, як база подальших моніторингових досліджень.

Надалі наведемо результати досліджень для основних об'єктів Калуського гірничопромислового району. Ці результати є методологічною основою для подальшого еколого-геологічного моніторингу.

Домбровський кар'єр.

Створено цифрову 3Д модель кар'єру з урахуванням динаміки його наповнення розсолами у відповідності до рівневого режиму в ретроспективі та перспективі. Відібрано проби розсолів на основі їх хімічного аналізу встановлено наявні та прогнозні рівні мінералізації, а також забруднення різними хімічними елементами, зокрема важкими металами. Розраховано критичні умови спрямованості розсолів кар'єру у водоносний горизонт у відповідності

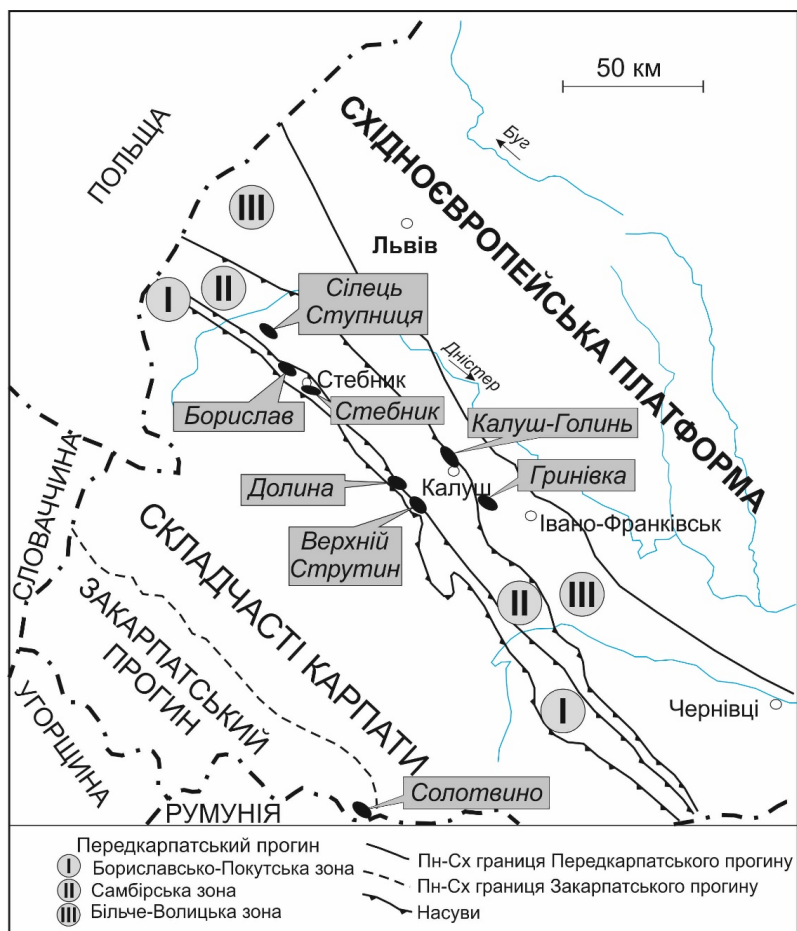


Рис. 1. Розташування родовищ та солепроявів в західній частині України

до рівня розсолів. Визначено оптимальний комплекс геофізичних досліджень з подальшим визначенням на результативній базі критерію імовірнісного розвитку техногенного карсту та втрати стійкості бортів кар'єру.

Площа засолення водоносного горизонту та підтоплення території.

Визначено динаміку наповнення розсолон Домбровського кар'єру по глибині та площі. Налагоджено систему режимних спостережень рівнів та мінералізації підземних вод по існуючих свердловинах, здійснено побудову та аналіз результативних карт, а також виконано балансові гідрогеологічні розрахунки. Встановлено кореляційні зв'язки ступеня засолення підземних вод та геофізичних параметрів, побудовано режимні карти засолення за даними геофізичних спостережень. Здійснено розрахунок за наявними гідрогеологічними та гідрогеохімічними моделями можливого потенційного забруднення р. Дністер та окремих його приток.

Відпрацьовані шахтні поля рудників «Калуш», «Нова-Голинь» та «Голинь».

Відновлено мережу опорних геодезичних реперів, здійснено режимні геодезичні спостереження, встановлено закономірності просідання земної поверхні у відповідності до встановлених стадій деформацій. Визначено оптимальний комплекс геофізичних спостережень у межах мульд осідання земної поверхні. Напрацьовано методіку обробки та комплексної інтерпретації геолого-геофізичних даних у задачах встановлення ступеня деградації земної поверхні та прогнозування розвитку деформацій. Детальний розгляд зазначених вище досліджень за своїм об'ємом є предметом принаймні

монографії. Тому надалі розглянемо більш детально деякі вибіркові результати. На рис. 2 як приклад наведено окремі фрагменти досліджень на території Калуш-Голинського родовища калійної солі.

Об'єкти Калуського гірничопромислового району зображені в центральній частині рисунка. Овальну форму має Домбровський кар'єр з огорожуючою дамбою; прямокутну форму – хвостосховища, що заповнені розсолами. Зі східного боку до кар'єру прилягають солевідвали. У західній та південній частині блідо-синім кольором позначені території шахтних полів. Червоні плями – ділянки прогнозованих провалів. По контуру рисунка зображені результати геолого-геофізичних та геодезичних досліджень, як складової еколого-геологічного моніторингу. Тривимірні зображення у верхній частині рис. 2 демонструють розвиток аномальних зон розущільнення напрямку інфільтрації по глибині, а також ступінь розмиву соляного дзеркала з часом.

Методи зондування становленням електромагнітного поля (ЗС) та вертикального електричного зондування (ВЕЗ) наведені в південній частині слайду та демонструють наявний стан міжкамernih ціликів відпрацьованого шахтного. Фрагменти лівої частини демонструють можливості картування розвитку карстових форм (як наслідок розущільнення гірських порід) та відображення цього процесу в тривимірному зображенні (за даними високоточної гравіметрії та режимних топогеодезичних спостережень).

Фрагменти правої частини рисунка демонструють кастопрояви на північному борті Домбровського кар'єру та прогнозні моделі цих форм по площі. Критерій ймовірності карстопроявів розраховано за комплексом геофізичних методів, а саме вертикаль-

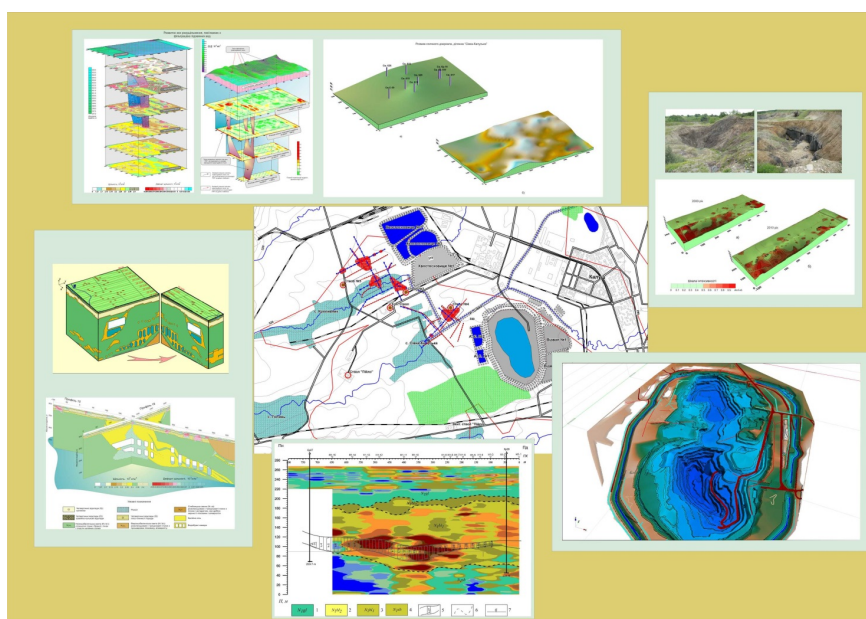


Рис. 2. Комплексний еколого-геологічний моніторинг Калуш-Голинського родовища калійної солі

них електричних зондувань, природного імпульсного електромагнітного поля Землі та природного електричного поля.

Висновки

1. Порушення технології видобутку як відкритим, так і шахтним способом, недосконала технологія консервації та ліквідації гірничо-видобувного та переробного комплексу призвела до виникнення екологічних проблем пов'язаних із природно-техногенним порушенням гірничого масиву та значною деформацією земної поверхні, забрудненням поверхневих та підземних вод, забрудненням гідрологічної системи в межах басейнів рік Дністер та Тиса.

2. Запропоновані моніторингові дослідження по кожному з названих соляних родовищ є в певній мірі ідентичними в силу подібності геологічних умов і типу корисних копалин. Ступінь їх реалізації є найбільш повною на Калуш-Голинському родовищі, яке відрізняється від інших наявністю як відкритого, так і шахтного способу видобутку і тому варте першочергової уваги.

3. Серед методів моніторингу на Калуш-Голинському родовищі задіяні наступні: топо-геоде-

зичні, геофізичні, гідрогеохімічні, гідрогеологічні. Реалізація комплексу зазначених методів надала можливість вирішення наступних задач: спостереження та оцінка стану деформації масиву гірських порід і видобувних камер, а також визначення та прогнозу стадії просідань та провалів земної поверхні; наявна та прогнозна оцінка забруднення водного середовища; оцінка балансових складових поверхневих і підземних вод з урахуванням динаміки їх об'ємів та забруднення з подальшим розрахунком можливого забруднення річкових басейнів.

5. Комплексні моніторингові спостереження дають змогу як у поточний момент, так і в перспективі приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру, а також забезпечують своєчасне виявлення негативних змін у геологічному середовищі, оцінку рівня техногенного навантаження та прогнозування розвитку небезпечних процесів. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню рівня екологічної безпеки територій, мінімізації ризиків для населення і об'єктів інфраструктури та оптимізації природокористування в постмаїнінговий період.

Література

1. Гайдін А. М., Рудько Г. І. Техногенний карст : монографія. Київ, 2016. 200 с.
2. Гайдін А. М., Дяків В. О., Чікова І. В. Деформації земної поверхні в зоні діяльності калійних рудників у Стебнику. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2014. № 2. С. 112–119.
3. Багрій С. М. Геофізичний моніторинг геологічного середовища в межах родовищ калійної солі (на прикладі Калуш-Голинського родовища) : дис. ... канд. геол. наук : 04.00.22. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2016.
4. Бурак К. О., Кузьменко Е. Д., Багрій С. М., Гринішак М. Я., Мельниченко Г. Г., Михайлишин В. П., Ковтун В. М. Особливості геодезичного моніторингу та прогнозування геотехногенної динаміки на шахтних полях калійних родовищ. *Вісник геодезії та картографії*. 2014. № 5. С. 12–18. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk_2014_5_9 (дата звернення: 29.04.2026).
5. Bagriy S., Kuzmenko E., Motkalyk A. Prediction of karst cave-in processes at the Solotvyno rock salt deposit applying geophysical methods. *16th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201701892.
6. Максимчук В. Ю., Сапужак О. Я., Дешиця С. А., Романюк О. І., Підвірний О. І., Коляденко В. В., Тимошук В. Р. Оцінка карстопровальної небезпеки у межах Стебницького калійного родовища методами електророзвідки. *Геодинаміка*. 2019. № 1(26). С. 76–89. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2019.01.076>.
7. Дешиця С., Підвірний О., Романюк О., Садовий Ю., Коляденко В., Савків Л., Мишишин Ю. Оцінка стану екологічно проблемних об'єктів Калузького гірничопромислового району електромагнітними методами та їх моніторинг. *Наука та інновації*. 2016. № 12(5). С. 47–59. DOI: <https://doi.org/10.15407/scin12.05.047>.
8. Hurska N., Bagriy S., Davybida L., Kuzmenko E., Fitsak I. Spatial modeling and prediction of environmental situation in the filling Dombrowski career. *14th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412365.
9. Павлюк В. І. Природні фактори активізації екзогенних процесів на техногенно порушених ділянках поширення соленосних відкладів Передкарпаття. *Геодинаміка*. 2016. № 1(20). С. 94–105. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2016.01.095>.
10. Kuzmenko E. D., Maksymchuk V. Y., Bagriy S. M., Sapuzhak O. Y., Chepurnyi I. V., Dzoba U. O. On the relevance of using a complex combination of NIEMFE and EM methods in forecasting rock deformation. *17th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201801820.
11. Malkova Y., Dolin V., Yakovlev Y. Formation regularities of liquid body of Dombrowsky quarry. *Geoinformatics 2020 – XIXth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo079>.
12. Kuzmenko E., Bahrii S., Dzoba U. The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (ENPEMF). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. Vol. 27, No. 3. P. 466–477. DOI: <https://doi.org/10.15421/111870>.
13. Шуровський О. Д., Анікеєв С. Г., Шамотко В. І., Дешиця С. А., Ніколаєнко О. А., Поплюйко А. Г. Геофізичний моніторинг еконебезпечних геологічних процесів в агломерації м. Калуша. *Мінеральні ресурси України*. 2012. № 2. С. 31–38.

Дата першого надходження статті до видання: 29.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026