

УДК [553.63:556.551](477)]

А. М. Гайдін – кандидат геолого-мінералогічних наук, співробітник відділення гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України, м. Львів;
В. О. Дяків – кандидат геологічних наук, доцент кафедри екологічної та інженерної геології та гідрогеології Львівського національного університету імені Івана Франка

Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру

Роботу виконано у відділенні гірничо-хімічної сировини АГНУ

На місцевому референдумі 97 % мешканців міста Калуша (Івано-Франківська область) проголосували за визнання території міста зоною екологічного лиха. Одна із головних проблем міста – Домбровський соляний кар'єр, який в останні роки самовільно інтенсивно затоплюється. Проведені дослідження показали принципову можливість формування у приповерхневій частині озера на місці соляного кар'єру прісноводної товщі.

Ключові слова: соляний кар'єр, прісне озеро, соляний карст, калійні породи.

Гайдін А. М., Дяків В. А. Умовия формирования пресноводного слоя в озере на месте соляного карьера. На местном референдуме 97 % жителей города Калуш (Ивано-Франковская область) проголосовали за признание территории города зоной экологического бедствия. Одна из главных проблем города – Домбровский соляной карьер, который в последние годы самовольно интенсивно затапливается. Проведенные исследования показали принципиальную возможность формирования в приповерхностной части озера на месте соляного карьера пресноводного слоя.

Ключевые слова: соляной карьер, пресное озеро, соляной карст, калийные породы.

Haydyn A. M., Dyakiv V. O. Conditions Forming of Freshwater Layer are in a Lake on Place Salt Quarry. 97 % dwellers of city Kalush (Ivano-Francivsk region) on local referendum have voted area for a recognition of city a zone of ecological disaster. One of main problems of city Kalush is salt quarry of Dombrovo, which last years intensively flooding. Our researches is show principle opportunity of creation on a place salt quarry of the fresh lake.

Key words: salt quarry, fresh lake, salt karst, potassium breeds.

Постановка наукової проблеми та її значення. 17 січня 2010 року понад 97 % мешканців міста Калуша (Івано-Франківська область) на місцевому референдумі проголосували за визнання міста зоною екологічного лиха. На підставі цих результатів колишній Президент України, Рада національної безпеки й оборони України, Верховна Рада України своїми указами, рішеннями та законами [9] визнали місто Калуш і два населених пункти Калуського району зонами надзвичайної екологічної ситуації та передбачили фінансування з Державного бюджету в сумі 560,8 млн грн на ліквідацію проблем, що залишились у спадок від калійного виробництва ВАТ “Оріана”. До таких проблем належать проблеми самозатоплення Домбровського соляного кар'єру, розмиву атмосферними опадами солевмісних відвалів, переповнення хвостосховища № 2 та стан суміжних із ним технологічних об'єктів, поширення ареалу засолення вод четвертинного водоносного горизонту й небезпека погіршення якості води в міському водозаборі, розвиток соляного карсту та просідання територій над виробленим простором шахт із деформацією чи руйнуванням інженерних споруд і житлових будівель, стан полігону відходів першого класу небезпеки, де заскладовано понад 11 тис. т гексахлорбензолу.

У цьому переліку найбільш актуальною проблемою вважається самозатоплення Домбровського соляного кар'єру, яке почалося після катастрофічної повені в липні 2008 року. Осушення кар'єру практично неможливе, адже він заповнений розсолами, скид яких у гідрмережу недопустимий. Тому основним питанням є прогноз хімічного складу води в майбутньому озері: чи не стане воно джерелом засолення четвертинного водоносного горизонту та що невідкладно потрібно зробити для попередження екологічних негараздів?

Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Загальний опис сучасного стану в зоні впливу Домбровського соляного кар'єру подано в низці наукових праць [1–4]. Деякі результати з експериментального моделювання розчинення уступів Домбровського кар'єру наведено в працях О. В. Палійчука [5–6]. Оpubлікованих наукових робіт щодо прогнозу мінералізації води в майбутньому Домбровському озері немає. Однак у пресі висловлюються різні думки щодо майбутнього стану кар'єру. Так, А. М. Гайдін і І. І. Зозуля в статті “Калуш. Міфи і реальність” [2] пропонують “залити виїмку прісною водою і створити гарне озеро”. Водночас Я. М. Семчук називає ідею перетворення Домбровського кар'єру на прісне озеро “абсурдною... [з причини] ... великої швидкості молекулярної дифузії” та робить висновок про те, що “...Домбровський кар'єр буде необмеженим джерелом соляного забруднення довкілля у глобальному масштабі з непередбачуваними наслідками” [7; 8].

Формулювання мети та завдань статті. Метою дослідження є прогнозування гідрохімічного складу вод на місці соляного кар'єру на основі вивчення динаміки самозатоплення, параметрів водопритоків, розчинення соленосних товщ, розвитку соляного карсту, зсувів і обвалів бортів, самоізоляції соляних порід.

Матеріали й методи. Для написання статті використано результати експериментального моделювання та польових досліджень Домбровського кар'єру. Хімічний склад вод визначали за стандартними методиками опробування й аналізу.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Калійні руди України утворюють Прикарпатський соленосний басейн, що простягається територією України смугою завдовжки 230 км і завширшки 25–60 км від Румунії до Польщі. Відомо понад 15 родовищ промислового значення. Калуська сукупність родовищ складається з Калуської та Волинської груп, а також дільниць Кадобно й Пійло (рис. 1). Калуську групу утворюють родовища Західна й Східна Голинь, Сівка-Калуська та Домброво. Запаси калійних солей – 475 млн т [4], уміст K_2O – 10–11 %.

Калійні родовища приурочені до Передкарпатського крайового прогину, ускладненого різномасштабними складками. На розмитій поверхні відкладень крейдового та юрського віку залягають соленосні неогенові відкладення стебниківської й нижньобалицької свит середнього міоцену. У Калуші калійна руда залягає на глибині до 100 м. Потужність у напрямку на південний захід зростає від 0 до 330–550 м. Руда утворює пласти та лінзи потужністю до 200 м із кутом 20–30°. Над калійними рудами залягає глинисто-гіпсова кора вивітрювання потужністю до 24 м. Четвертинні відкладення представлені валунно-гальковиковим шаром потужністю 2–18 м і алювіально-делювіальними суглинками завтовшки 2,5–6 м.

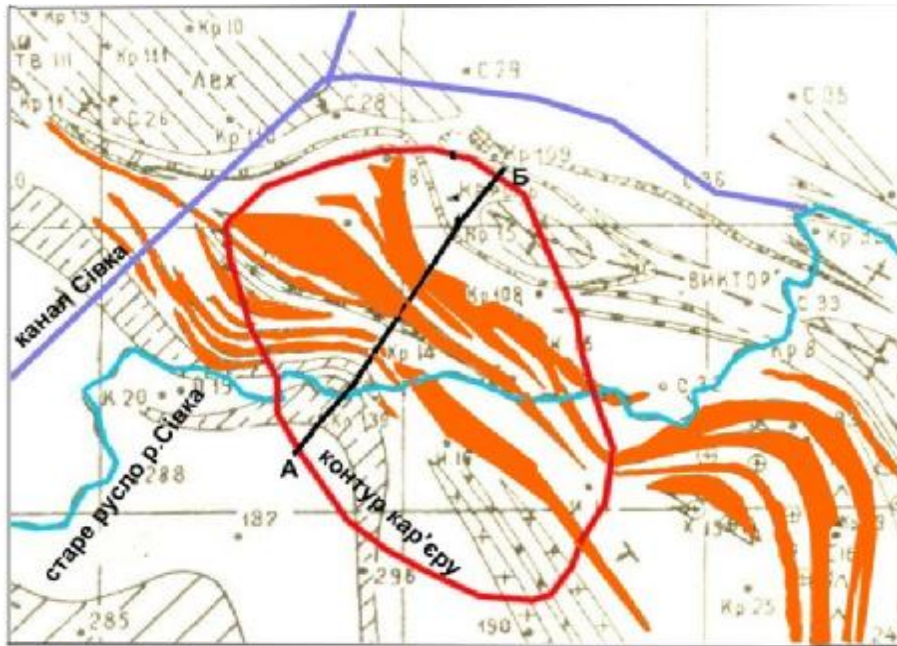
Поклади Калуш-Голинського родовища мають складний полімінеральний склад. Основними мінералами калійних покладів є галіт, каїніт, лангбейніт. У невеликих кількостях (1–8 %) наявні полігаліт, кізерит, сильвін, шеніт, епсоміт, леоніт і карналіт. У вигляді домішок (до 1 %) трапляються астраханіт, левейт, гексагідрит, ангідрит, гіпс, зрідка – вантгофіт, бішофіт та арканіт. Важливу роль у складі калійних порід відіграє глинистий і алеврито-піщаний теригенний матеріал, наявний у кількості 10–15 %.



Рис. 1. Просторове розміщення гірничих об'єктів Калузького промвузла на топографічній карті міста

Неглибоке залягання калійних руд у східній частині Голинської ділянки в межах Домбровського поля (рис. 2), було тим чинником, з огляду на який у 1960-ті роки запроєктовано виїмку розвіданих запасів кар'єрним способом зі складування пустих порід у солевідвалах, а відходів збагачення – у шламо- та хвостосховищах. Домбровський кар'єр був єдиним у світі кар'єром, що розробляв соляні поклади в умовах гумідного клімату – переважання атмосферних опадів над їх випаровуванням. Це потребувало вирішення низки гідрогеологічних і геоекологічних проблем: відведення русла річки Сівка за контур кар'єру, осушення четвертинного водоносного горизонту шляхом улаштування навколо кар'єру кільцевої дренажної траншеї, постійний збір та відкачка атмосферних опадів, які, взаємодіючи із солями, перетворювалися в розсіл, гідроізоляція берм та неробочих бортів кар'єру, боротьба з проявами соляного карсту та ерозією. За таких умов із надр Домбровського кар'єру в 60–90-х роках видобуто понад 14 млн т калійної руди, собівартість якої була значно меншою порівняно із шахтним способом видобутку.

Глибина кар'єру – 140 м, довжина – 900 м, ширина – 850 м, площа – 64 га. Об'єм виробленого простору – 52,5 млн м³. Покривні відклади розкриті чотирма уступами заввишки до 10 м з організацією селективної виїмки ґрунтово-рослинного шару, суглинків, галечників і гіпсо-глинистої “шапки”, а скельні розкриті породи та рудний поклад – уступами заввишки до 15 м. За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру видобуто 35,4 млн м³ розкритих порід і 14,7 млн м³ калійної руди – разом 50,1 млн м³ гірничої маси.



Геологічний розріз по лінії А-Б

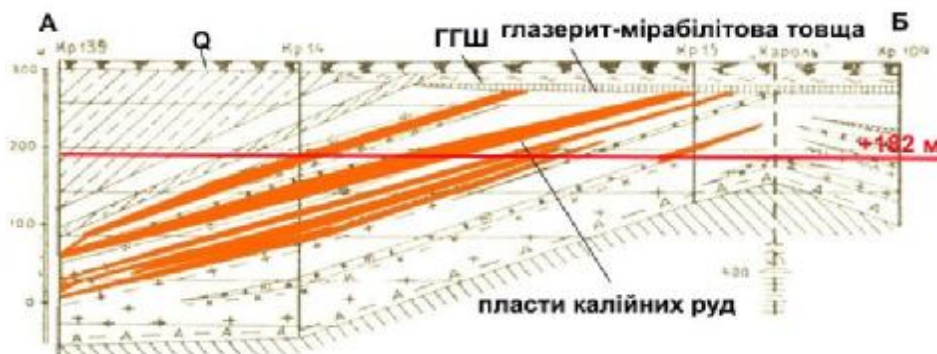


Рис. 2. Геологічна карта горизонту +182 м та геологічний розріз у межах контуру Домбровського кар'єру (за С. М. Кореневським, 1963)

Кар'єр складається із південної та північної частин, розділених перемичкою. Південна частина відпрацьована в 1967–1982 роках, а північна – уведена в 1983 році. Для перехвату й відведення прісної води з четвертинного водоносного горизонту навколо кар'єру пройдено дренажну траншею завдовжки 5,3 км і завглибшки до 25 м об'ємом 2,3 млн м³. У період експлуатації в кар'єр поступало 1,4 млн м³ води в рік, у тому числі 450 м³ у рік викачували із дренажної траншеї.

Проте складна природно-техногенна система видобутку руди потребує постійних енергетичних затрат та пунктуального виконання всіх заходів для підтримки кар'єру в робочому стані. Проблеми Домбровського кар'єру почалися всередині 90-х років, коли внаслідок економічної кризи не виконувалися передбачені регламентом роботи для ліквідації проявів соляного карсту. За борги підприємству періодично вимикали електричний струм.

Незважаючи на спроби врятувати кар'єр, у якому залишилося понад 32 млн т розкритих запасів калійної руди, через відсутність фінансування відбувається самозатоплення кар'єру. У період інтенсивних дощів у липні 2008 року перемичку між південною та північною частинами кар'єру розмито (рис. 3). Кар'єр затоплюється водою, а його борти й зовнішні відвали руйнуються соляним карстом (рис. 4) та обвалами (рис. 5).



Рис. 3. Західний борт Домбровського кар'єру в листопаді 2008 р.



Рис. 4. Руїнування західного (зліва) та північного бортів кар'єру соляним карстом



Рис. 5. Обвали борту в соленосній товщі

Водопритік у соляний кар'єр супроводжується розвитком низки екзогенних геологічних процесів. Деякі з цих процесів можна спостерігати в природних умовах. Це дає змогу перевірити дані експериментального моделювання натурними спостереженнями.

Фізичне моделювання. У процесі побудови експериментальної моделі борта кар'єру як аналога соленосної товщі взято суміш галіту та глинистих мінералів у пропорції 3:1, змішаної й скріпленої незначною кількістю води (950 мл на 10 кг суміші), яка під час висушування та механічного утрамбування перетворюється на стійку тверду штучну соленосну породу заданої конфігурації. Така штучна галопелітова товща за фізико-хімічними особливостями, розчинністю, фільтраційними властивостями максимально відповідала соленосній товщі реального об'єкта.

Аналогом четвертинних відкладів у досліджуваній моделі слугував гравій, який був поміщений у спеціальну металеву сітку для забезпечення фільтрації води та можливості безперешкодного виймання для документування наслідків розчинення покрівлі соленосної товщі.

Затоплення “кар'єру” імітувалося шляхом дозованого крапельного поливу гравію прісною водою (рис. 6).



**пристрій
для крапельної
подачі води**

**аналог
четвертинних
відкладів**

**аналог
соленосної
товщі**

Рис. 6. *Схема моделі для дослідження процесів, які супроводжують затоплення соляного кар'єру*

Зміни, що відбувалися з підготовленою моделлю в процесі імітованого водопритоку, фотодокументували й порівнювали з процесами, що сьогодні спостерігаються під час затоплення кар'єру (рис. 7–8).

Як видно з рис. 7, первинним процесом, що супроводжує затоплення соляного кар'єру прісними водами, є зародження та поглиблення ніші вилуговування, із “зависанням” на рівнем водного дзеркала консолі соленосних товщ. Поглиблення ніші вилуговування призводить до посилення гравітаційного навантаження на “завислу” консоль, що у певний момент спричиняє зародження субвертикальних заколів. Субвертикальні заколи порушують стійкість бортів і призводять до їх обвалення. Під час притоку води в кар'єр по схилах, складених соленосними товщами бортів, розвивається лінійна ерозія, яка є ініціувальним чинником зародження та розвитку соляного карсту.

Головними процесами, що супроводжують затоплення соляного кар'єру прісними водами (див. рис. 8), є розвиток соляного карсту з утворенням понорів, карів, карстових каналів. Ці прояви не менш активно, ніж ніші вилуговування, сприяють не тільки обваленню бортів, а й забутуванню підводних схилів кар'єру – відриву та скочування великих галопелітових глиб у водну товщу. Забутування підводного схилу сприяє мінімізації явищ опливання за рахунок виникнення шорсткої поверхні дна та осадження тут гідроізолюючих глинистих мінералів. Нерозчинний теригенний глинистий матеріал, осідаючи на нерівну поверхню підводного схилу, утворює підпірну призму під кутом природного укосу. Найважливішим наслідком фізико-хімічної та механічної дезінтеграції соленосних товщ є їх самоізоляція та консолідація гідроізолюючого прошарку, коли нерозчинний осад утворює стійкий механічний бар'єр між водою й соленосною товщею.



Зародження та поглиблення ніші вилюговування на рівні водного дзеркала в затоплюваному кар'єрі



Ерозія, утворення заколів та обвалення борту над нішею вилюговування в затоплюваному кар'єрі



Зародження ніші вилюговування на рівні водного дзеркала в експериментальній моделі



Ерозійний розмив борту над нішею вилюговування в експериментальній моделі



Ріст ніші вилюговування на рівні водного дзеркала в експериментальній моделі



Утворення заколів у тілі борту над нішею вилюговування в експериментальній моделі



Поглиблення ніші вилюговування на рівні водного дзеркала в експериментальній моделі



Обвалення борту над нішею вилюговування в експериментальній моделі

Рис. 7. Порівняльна характеристика процесів зародження та поглиблення ніш вилюговування, розвитку ерозії, виникнення заколів та обвалення бортів у затоплюваному кар'єрі та експериментальній моделі



Розвиток соляного карсту в бортах та на рівні соляного дзеркала в затоплюваному кар'єрі



Обвалення бортів, забутовування й самоізоляція солевмісних товщ у затоплюваному кар'єрі



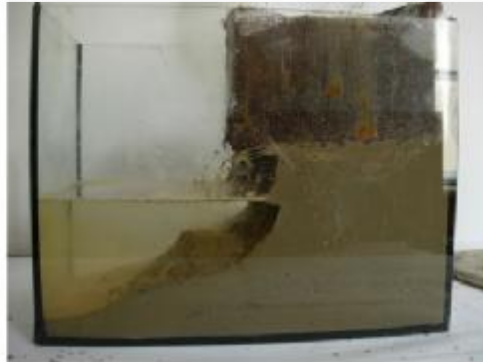
Площинний розвиток карсту на рівні соляного дзеркала в експериментальній моделі



Обвалення борту та забутовування солевмісної товщі в експериментальній моделі



Субвертикальний розвиток карсту з формуванням порів у борті кар'єру в експериментальній моделі



Забутування та первинна самоізоляція солевмісної товщі в експериментальній моделі



Об'ємна дезінтеграція борту внаслідок тривалого карстування в борті та зони розвантаження експериментальної моделі



Самоізоляція солевмісної товщі зі сформуванням стійкого профілю дна в експериментальній моделі. Лінією оконтурена ізолювальна глиниста товща

Рис. 8. Порівняльна характеристика процесів розвитку соляного карсту, обвалення та забутовування бортів із самоізоляцією соленосних товщ у затоплюваному кар'єрі та експериментальній моделі

По суті, описані явища гідроізоляції соленосних товщ аналогічні до природних процесів утворення глазерит-мірабілітової та гіпсо-глинистої шапки. Так, у експериментальній моделі при вийнятій металевій сітці з гравієм можна побачити, що модельні перекривні “четвертинні” відклади рівномірно просідають у кривлю соленосної товщі, із якої за кілька діб експерименту вилугувана сіль, але при цьому теригенний матеріал не винесений суфозійним потоком. Тобто гравійна товща просідає в новоутворений прошарок глини та сприяє її консолідації. За таких умов утворюється стійкий до розмиву гідроізолюючий шар з армуючими домішками гравійно-галькового матеріалу – типового буттового каменю, який мінімізує розмив та забезпечує ущільнення й консолідацію глини, що повністю запобігає подальшому розчиненню соленосної товщі.

Після повного затоплення моделі до рівня “четвертинного горизонту” ми провели спостереження за змінами хімічного складу вод при періодичному відборі 25 % об’єму розсолів із дна. У такий спосіб ми моделювали процес штучного пониження рівня ропи в майбутньому озері на місці кар’єру. Відібраний об’єм розсолу компенсувався додаванням тотожної кількості прісної води в ламінарному та турбулентному режимах. Після 3–5-денного відстоювання в “затопленому кар’єрі” визначали питому масу води аерометричним методом із п’яти водних прошарків на рівні: 1 – “водної поверхні”, 2 – “четвертинного водоносного горизонту”, 3 – “гіпсово-глинистої шапки”, 4 – “соленосної товщі” та 5 – “донної частини кар’єру” (рис. 9).

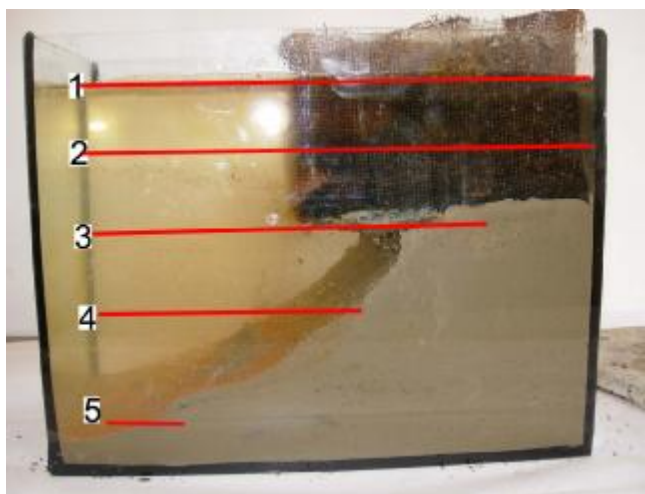


Рис. 9. *Схема опробування моделі затопленого кар’єру*

Проведено 10 відборів по п’ять проб по вертикалі (рис. 9). Результати визначення мінералізації наведено в табл. 1 та на рис. 10.

Таблиця 1

Розподіл мінералізації води по глибині й у часі

Дати відбору та проведення аналізів										
Глибина, см	10.03. 2009 р.	13.03. 2009 р.	16.03. 2009 р.	19.03. 2009 р.	21.03. 2009 р.	25.03. 2009 р.	28.03. 2009 р.	01.04. 2009 р.	04.04. 2009 р.	08.04. 2009 р.
0	<1 г/л	1 г/л	21 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л
5	<1 г/л	13 г/л	50 г/л	22 г/л	3г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л	<1 г/л
10	35г/л	94 г/л	94 г/л	76 г/л	20 г/л	18 г/л	16 г/л	12 г/л	3 г/л	6 г/л
15	192 г/л	179 г/л	166 г/л	124 г/л	38 г/л	70 г/л	60 г/л	54 г/л	52 г/л	50 г/л
20	295 г/л	275 г/л	216 г/л	180 г/л	162 г/л	130 г/л	123 г/л	104 г/л	97 г/л	95 г/л

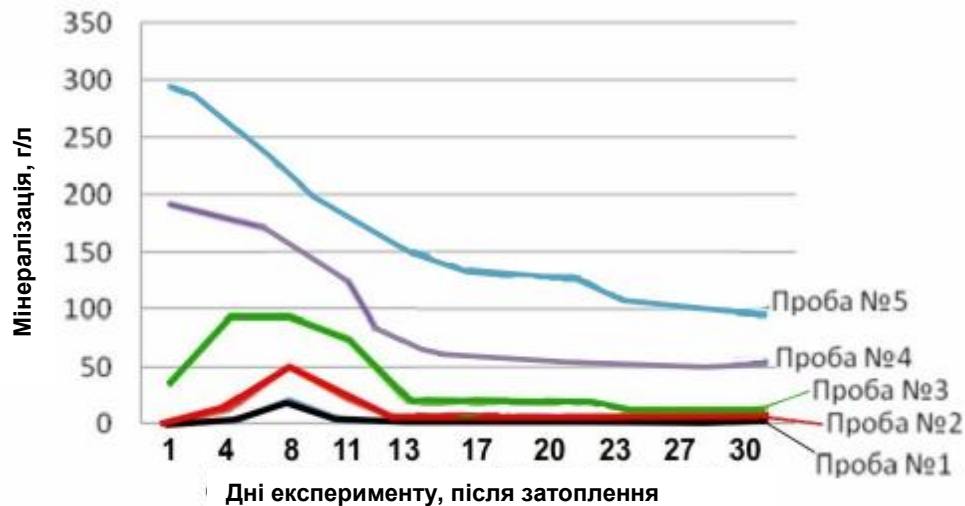


Рис. 10. Зміна мінералізації води в точках опробування моделі: проба № 1 – поверхня, проба № 2 – глибина 8 см, проба № 3 – глибина 15 см, проба № 4 – глибина 23 см, проба № 5 – глибина 30 см

Об'єм нерозчинного осаду дорівнює об'єму розчиненої руди, помноженому на об'ємний уміст нерозчинного осаду в частках одиниці (рис. 11).

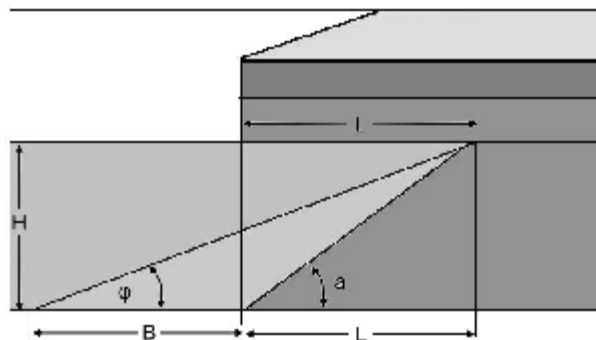


Рис. 11. Розрахункова схема для визначення параметрів ніші

Звідси легко показати, що при розчиненні вертикальної стінки глибина ніші дорівнює:

$$L = H \times \operatorname{ctg} \varphi / (c + 1),$$

де H – глибина води, φ – кут природного укосу нерозчинного осаду, c – об'ємний уміст нерозчинного осаду в солях у частках одиниці.

Із цієї формули видно, що глибина ніші тим більша, чим менше в солях нерозчинного осаду. Кут нахилу поверхні розчинення соленосної породи під водою визначаємо відношенням:

$$\operatorname{tg} \alpha = (c + 1) / \operatorname{tg} \varphi.$$

У разі, коли нерозчинного осаду мало, $c \rightarrow 0$ і $\alpha \rightarrow \varphi$, глибина ніші найбільша:

$$L = H \times \operatorname{ctg} \varphi.$$

Максимальна глибина ніші при нахиленому під кутом b борті визначається із формули

$$L = H \times (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} b) / (c + 1).$$

У разі, коли нахил борту дорівнює куту стійкого відкосу нерозчинного осаду, $\varphi = b$, $L = 0$, розчинення взагалі не спостерігаємо.

Борти кар'єру переважно складені калійною рудою, яка вміщає 12 % нерозчинного теригенного матеріалу, а також близько 6 % слабозрозчинного полігаліту й 7 % нерозчинного кізериту. Усього вміст нерозчинного залишку становить 25 %. У бортах, складених соленосною породою, уміст

нерозчинного матеріалу становить близька 55 %. Кут нахилу нерозчинного осаду дорівнює приблизно 45°. Кут нахилу бортів становить 65°. Під час затоплення борту в калійній руді на висоту $H = 28$ м, глибина ніші дорівнює 11,8 м. Глибина ніші в аналогічних умовах в борті, складеному соленосною породою, становить 9,6 м. Фактично така глибина не досягається, оскільки над нішами спостерігається обвалення берега.

Виведені формули дають змогу вирахувати кількість солей, які розчиняться під час затоплення кар'єру. Маса розчинених солей M дорівнює $M = V \times (1 - c) \times \gamma$, де V – площа вертикального перетину ніші, γ – питома маса солі.

Обвалення берегів. Коли рівень води наближається до покрівлі солей, глинисті породи й залишок соленосної породи над нішею не витримують ваги порід, що налягають і виникають масові обвали (рис. 12). Обвалені блоки утворюють прибережні скелі (рис. 12 в), але з часом залишки солі розчиняються, а уламки глинистих порід сповзають із нахиленої поверхні нерозчинного осаду (рис. 12 г). Цей процес дуже добре відображено під час експериментального моделювання.

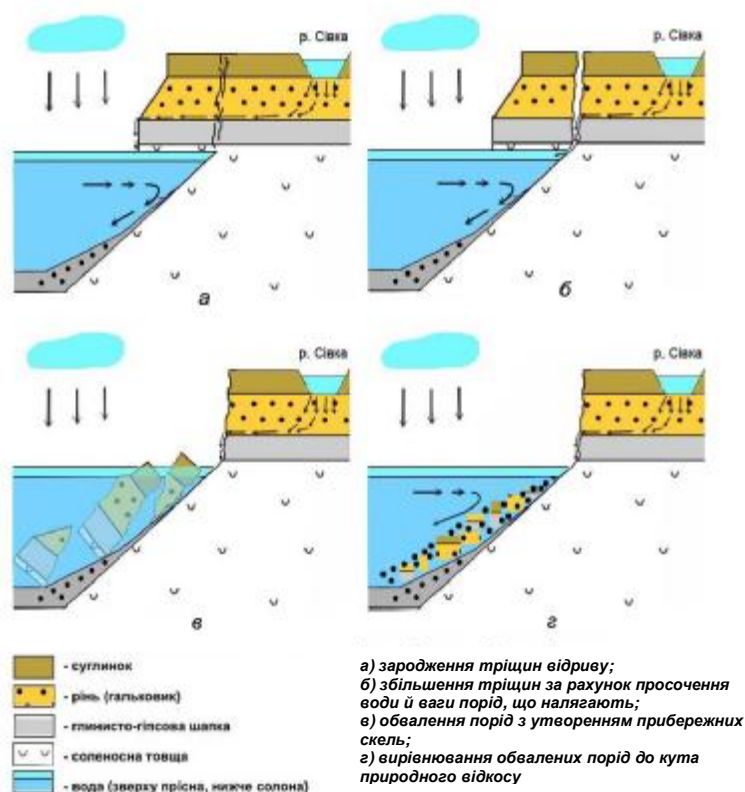


Рис. 12. Модель зародження тріщин, обвалення бортів та самоізоляції соленосних відкладів

Після затоплення соленосної товщі протягом приблизно десяти років триватиме затоплення виїмки в інтервалі глинистої шапки та четвертинних відкладень (рис. 13 б). За рахунок обвалення берег може відступити від початкового на 25–40 м. Подальше руйнування берегів проходитиме за рахунок вивітрювання й розмиву. Коли вода досягне підшви гальковика, він буде розмиватися та осипатися з берега (рис. 13 а). Ще швидше розмивається суглинок, осадок якого заповнюватиме пониження. За рахунок цього поверхня дна вирівнюється до кута природного укусу (рис. 13 б). Захисний шар над поверхнею солі збільшиться. Із цього моменту розчинення солей практично припиняється.

Хвильовий розмив. Як показують спостереження на кар'єрах, на початку затоплення високі береги озера захищають плесо від вітру, хвилі незначні. Глиниста товща практично не буде розмита, залишиться субвертикальний обрив. Гальковик також слабо розмивається. Рівень води постійно підніматиметься, тому профіль берега майже не зміниться.

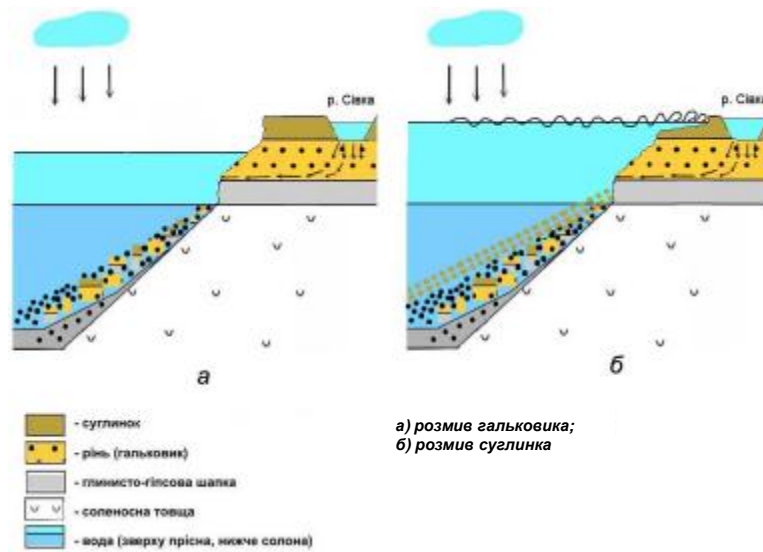


Рис. 13. Модель хвильового розмиву теригенних відкладів та формування стійкого профілю берегів озера на місці кар'єру

Кінцевий рівень води перебуватиме в інтервалі суглинків. Вони дуже швидко розмиваються, тут формуватиметься прибережна мілина під кутом $1-2^\circ$ і субвертикальний кліф. Висота зони розмиву визначається амплітудою коливання рівня води в озері й висотою хвиль. Оскільки вода з озера витікатиме каналом без регульованого пристрою, амплітуда коливання рівня води буде незначною. Максимальна висота хвилі за аналогією з подібними за розміром озерами в сірчанних кар'єрах становить 1 м. При нахилі прибережної мілини $1,5^\circ$ можлива ширина зони розмиву становитиме 38 м. Буде розмиватися територія між озером і дренажною траншеєю, що не викликає негативного впливу на навколишнє середовище.

Обвалення берегів над нішами розчинення та хвильовий розмив нарешті призведуть місцями до повного розмиву території між дренажною траншеєю та основним плесом. Вірогідно, тут утвориться декілька островів, оточених мілководдями. В інтервалі суглинка немає мілководдя й пляжу.

Кінцевий профіль берега приблизно матиме такий вигляд, як на рис. 14.

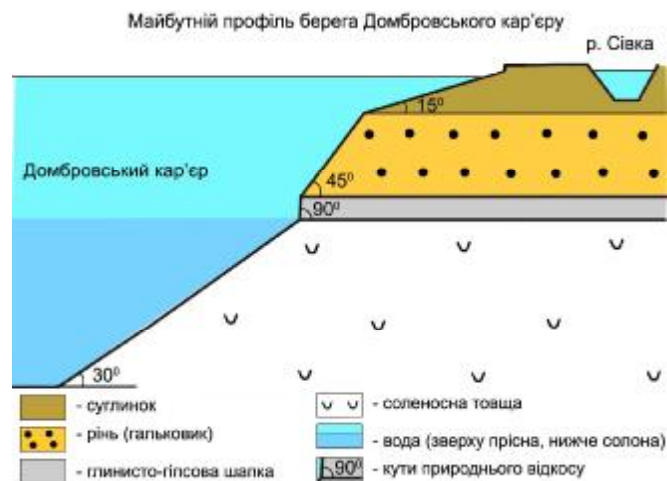


Рис. 14. Прогнозний кінцевий профіль берегів озера на місці Домбровського кар'єру

Чинники, що визначають мінералізацію води в озері на місці соляного кар'єру: гравітаційне розшарування та параметри молекулярної дифузії. Концентрація розсолу, рівноважного з калійною рудою, досягає 420 г/л. Як ми спостерігали на моделі, розсіл із високою мінералізацією

стікає нахиленою поверхнею ніш на дно, а прісна вода накопичується зверху. Із моменту обвалення берегів розчинення солей припиняється і над розсолем накопичується прісна вода. Товщина шару прісної води відповідає різниці між відміткою затоплення (296 м) і відміткою покрівлі соленосної товщі (278 м), що становить 18 м.

Для демонстрації явища гравітаційного розшарування соленої та прісної води проведені спеціальні досліді. У нижній частині прозорого лотка був залитий розсіл із концентрацією 320 г/л. На його поверхню через шланг подавали підфарбовану прісну воду. На рис. 15 показано, що підфарбована прісна вода поширюється на поверхні, не змішуючись із розсолем.

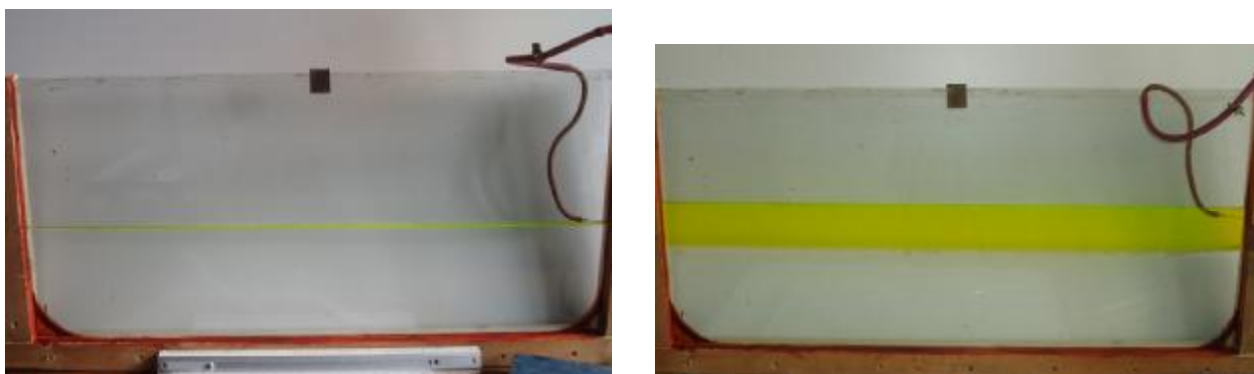


Рис. 15. Гравітаційна диференціація прісної води та розсолу

Після затоплення рівень води в озері буде на відмітці 295–296 м, це на 3 м нижче від рівня води на контурах живлення – у каналі й руслі Сівки. Тому озеро слугуватиме місцем розвантаження води четвертинного водоносного горизонту. Крім того, на площу озера випадатиме близько 1 млн м³ опадів.

Із озера витікатиме потічок із середньою витратою до 1,5 млн м³/рік. Якщо буде споруджений канал для впуску води в озеро з річки Сівки, живлення озера здійснюватиметься переважно річковою водою, відповідно збільшиться виток.

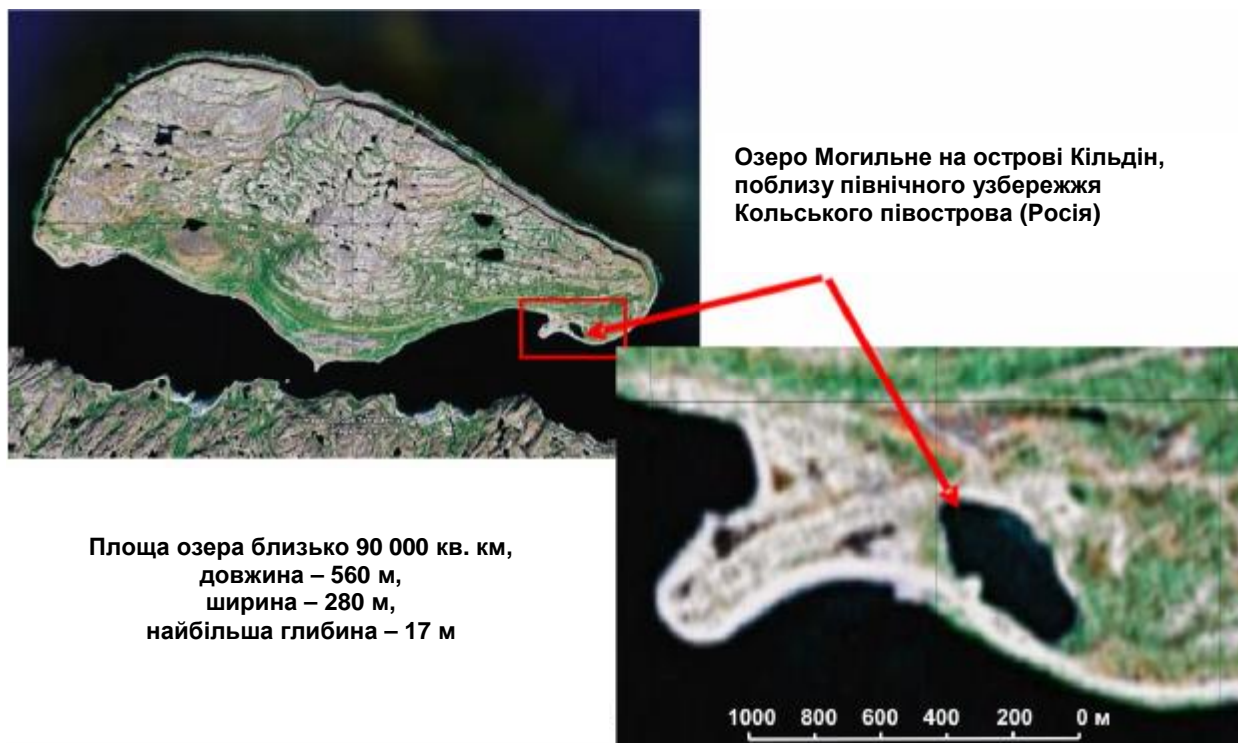


Рис. 16. Просторове розміщення озера Могильне на космознімках Google Earth

Прісна вода займатиме верхню 18-метрову частину водної товщі, а солоня – нижню. Перемішування води під впливом вітрових хвиль поширюється лише на глибину, яка дорівнює висоті хвилі, тобто не досягає межі розділу між солоною та прісною водою.

Природним аналогом озера з гравітаційнорозшарованими водними товщами є озеро Могильне, розміщене на острові Кільдін на Кольському півострові (рис. 16). Це озеро відгороджене від Баренцевого моря природною греблею, складеною з пересипаних піском валунів, плиток пісковика й гальки. Гребля підтримує рівновагу між водами, що поступають в озеро з моря, та прісною водою з атмосфери й із суші. Гідрохімічна рівновага солоної та прісної води підтримується за рахунок фільтрації морської води в нижній частині через вал завширшки до 70 м і заввишки 5,5 м, що відділяє озеро від океану, та випадання прісних атмосферних опадів на поверхню.

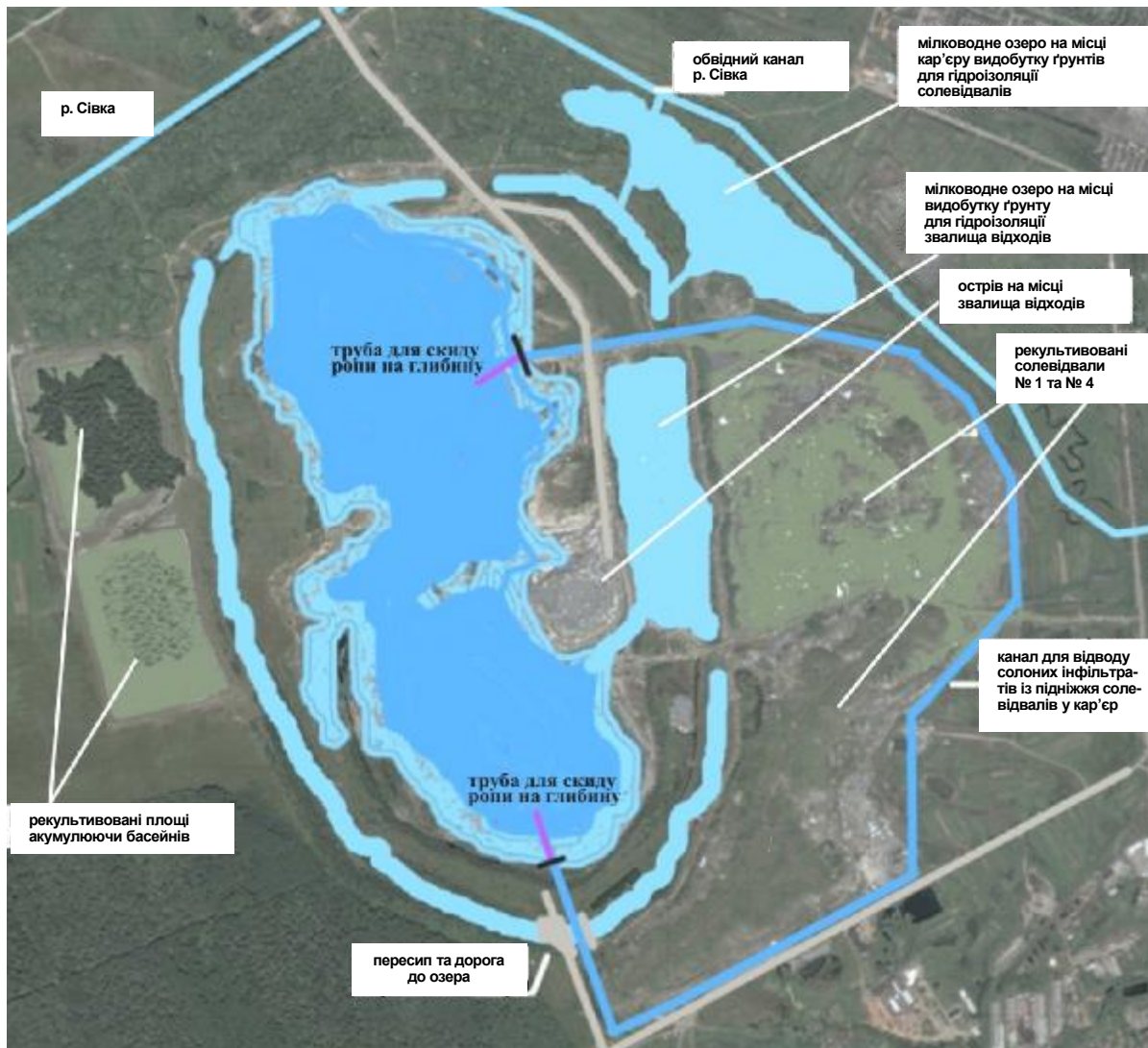


Рис. 17. *Пропонована схема майбутнього ландшафту, яка забезпечить формування прісного озера на місці Домбровського соляного кар'єру*

Феномен реліктового озера Могильне полягає в тому, що товща його води складається із п'яти різних шарів. Найнижчий шар із глибини 15 метрів насичений сірководнем. Другий шар забарвлений у рожевий колір і не пропускає сірководень у верхні шари. Третій – солоня морська вода, у якій живуть мешканці моря – молюски, морські зірки, а з риб – тріска. Четвертий шар – це суміш солоної та прісної води. І, нарешті, п'ятий – прісна вода. Товщина цього шару досягає п'яти метрів.

Населений цей поверх прісноводною флорою й фауною. Усі ці п'ять шарів не змішуються між собою понад 400 років. У зв'язку з унікальністю реліктове озеро Могильне з 1978 року оголошено заповідним.

Такі гідрохімічні особливості озера Могильне дають підстави проводити паралелі з озером на місці Домбровського соляного кар'єру за умови виконання визначених рекультиваційних робіт: облаштування каналів та трубопроводів для перехоплення й скиду ропи хвостосховищ та інших об'єктів у Домбровський кар'єр нижче від рівня соленосних відкладів, гідроізоляції й рекультивації солевідвалів, хвостосховищ, шламосховищ, акумулювальних басейнів, звалищ відходів, ламінарне затоплення кар'єру прісними водами за схемою, показаною на рис. 17.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті натурних спостережень та фізичного моделювання з'ясовано механізм деформацій бортих кар'єру, обумовлений розчиненням солей і обвалюванням покривних порід. Накопичення нерозчинного осаду й продуктів обвалювання призводить до ізоляції соленосних порід від водної товщі.

У результаті процесів обвалювання площа контакту між солями та водою зменшується в часі, що обумовлює зменшення мінералізації розсолів. Коли рівень води піднімається вище від покривлі соленосних порід, розчинення припиняється й у кар'єрі накопичується прісна вода із четвертинного водоносного горизонту та атмосферних опадів. Гравітаційне розшарування водної товщі обумовлює двошарову будову водної товщі з розсолами на глибині понад 18 м і прісною водою зверху.

Результати досліджень підтверджує наявність природного аналога – озера Могильного, де спостерігається подібна стратифікація водної товщі. Таким чином, доведено можливість створення на місці соляного кар'єру придатного для рекреації озера з прісноводною верхньою частиною, що потребує ще подальших досліджень.

Література

1. Боднар Г. В. Стан екологічної ситуації на Калуш-Голинському родовищі на стадії ліквідації / Г. В. Боднар // Екологія і ресурси. – 2007. – Вип. 17. – С. 42–46.
2. Гайдін А. М. Калуш : міфи і реальність / А. М. Гайдін, І. І. Зозуля // Дзеркало тижня. – 2010. – 13 лют. (№ 5).
3. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла / Є. І. Крижанівський, Е. Д. Кузьменко, М. В. Палійчук, Б. Т. Бараненко // Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу : наук.-тех. журн. – 2008. – № 2. – С. 3–9.
4. Рудько Г. І. Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття / Г. І. Рудько, Л. Є. Шкіца // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2001. – № 5-6. – С. 68–71.
5. Палійчук О. В. Експериментальні дослідження розчинення соляних уступів Домбровського кар'єру шляхом зрошування / О. В. Палійчук // Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу : наук.-техн. журн. – 2008. – № 1.
6. Палійчук О. В. Аналітичні дослідження процесу розчинення і дифузії солей в гірничих виробках / О. В. Палійчук // Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу : наук.-техн. журн. – 2008. – № 2.
7. Семчук Я. М. Вплив систем розробки калійних родовищ на геологічне середовище / Я. М. Семчук, Л. Є. Шкіца // Уголь України. – 2004. – № 3. – С. 10–11.
8. Семчук Я. М. Екологічні проблеми Калуша та прилеглих до нього сіл і шляхи їх вирішення / Я. М. Семчук // Дзвони Підгір'я. – 2010. – 19 берез.
9. Указ Президента України від 10.02.2010 року № 145 “Про оголошення території міста Калуш та сіл Кропивник і Сивка-Калуська Калуського району Івано-Франківської області зоною надзвичайної екологічної ситуації”.

Адреса для листування:

79005, м. Львів, вул. Грушевського, 4,
ЛНУ ім. Івана Франка, геологічний факультет
E-mail: dyakivw@yahoo.com

Статтю подано до редколегії
21.06.2010 р.