

УДК (549.766 + 549.761) : 548.5 : 553.632(477)

**В.О. Дяків<sup>1</sup>, В.І. Павлишин<sup>1</sup>, Н.Т. Білик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90  
E-mail: dyakivw@yahoo.com

<sup>2</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка  
79005, м. Львів, Україна, вул. Грушевського, 4

## МІНЕРАЛОГІЧНІ ПРОТЕКТОРИ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ СОЛЯНО-ГЛИНИСТИХ ПОРІД У ПРОЦЕСІ МОКРОЇ КОНСЕРВАЦІЇ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК КАЛІЙНИХ РОДОВИЩ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

---

Проаналізовано особливості мокрої консервації рудника № 2 Стебницького родовища та Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей. Встановлені три головні мінералогічні протектори дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття: 1 — полімінеральний склад затоплюваних покладів, різна швидкість розчинення соляних мінералів та формування неоднорідної, шорсткуватої слабопохилої поверхні у зануреній ділянці ніші вилуговування; 2 — наявність нерозчинних мінералів у калійних рудах та солевмісних породах із їх вивільненням з корінних відкладів та осадженням на розчинену поверхню; 3 — армування та гравітаційне ущільнення осаджених мінералів обвальними глинами, уламками, щебенем корінних порід з їх перекристалізацією, первинною цементацією та зневодненням осадка. Виявлені та описані мінералогічні протектори є однією з важливих причин того, що реальний масштаб дезінтеграції соляно-глинистих порід на порядок менший, ніж експериментально визначений за "ідеальних" фізико-хімічних умов.

**Вступ.** У соленосних моласових відкладах Передкарпатського прогину на території України розвідано понад 15 родовищ калійних руд, з яких найбільшими є Стебницьке та Калуш-Голинське (рис. 1).

Розробку цих родовищ розпочато ще у ХІХ ст., тож їхнє геологічне середовище суттєво змінене в результаті підземних та відкритих гірничо-видобувних робіт, водопідведенням до гірничих виробок та активним розвитком техногенно активізованого соляного карсту [7, 10]. Внаслідок активізації водопритоків, інтенсивного розвитку соляного карсту, вичерпання запасів калійних покладів рудника № 2 Стебницького ДГХП "Полімінерал", шахт та Домбровського соляного кар'єру у м. Калуш їх розробка традиційними способами виявилась неможливою. У зв'язку з цим розроблені ВАТ "Гірхімпром" та затверджені урядовими рішеннями проекти мокрої кон-

сервації реалізовані чи реалізуються Стебницьким ДГХП "Полімінерал" та ДП "Калійний завод" (м. Калуш). Аварійний водопритік до рудника № 1 Стебницького ДГХП "Полімінерал" у 2006—2007 рр. вдалось локалізувати, побудувавши гідроізоляційну перемичку, на сьогодні ця копальня хоч і перебуває у стані сухої консервації, але є єдиною в Україні, де можна видобувати калійні руди без значних капітальних вкладень. Значно більших витрат потребує недобудована шахта "Пійло" у Калуші.

Слід зазначити, що за розробленими проектами передбачено не ліквідацію гірничих виробок, а консервацію шахт шляхом затоплення насиченими розсолами (мінералізація — понад 360 г/л) з перспективою видобутку у них корисних копалин за допомогою альтернативних методів, наприклад, підземного вилуговування із подальшим заповненням виробленого простору. Проте значна частина передбачених технічних рішень не реалізовується через недофінансування або виконується із

© В.О. ДЯКІВ, В.І. ПАВЛИШИН, Н.Т. БІЛИК, 2013

запізненням. Наслідком цього є активніший розвиток соляного карсту та інтенсивніша від передбаченої дезінтеграція соляно-глинистих порід (мінеральних асоціацій калійних руд і вмісних порід з легко- та нерозчинних у воді мінералів) у міжкамерних ціликах шахт і соляних бортах Домбровського кар'єру. Експериментальне моделювання та багаторічні спостереження реальних явищ, що супроводжують затоплення рудника № 2 у Стебнику та Домбровському кар'єрі у Калуші, дозволили нам виявити мінералогічні протектори дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття. Все це визначає актуальність проведених досліджень.

**Методика досліджень** полягала в аналізі моніторингових спостережень за водопритоками, польових дослідженнях, польовому та експериментальному моделюванні процесів дезінтеграції, рентгенодифракційній діагностиці мінерального складу корінних відкладів та перевідкладеного осаду.

**Гірничо-геологічна та мінералогічна характеристики покладів.** Стебницьке родовище знаходиться в північно-східній частині Передкарпатського прогину в басейні р. Тисмениця в

західній частині м. Стебник. Поклади приурочені до верхньоворотищенської світи, яка представлена потужною (до 1000 м) товщею соляно-глинистих порід з пластами і лінзами калійних солей. Поклади калійних солей, які розроблялися рудником № 2, сконцентровані у пласті "Основний" (№ 10, 11 та 14) (рис. 2).

Практично по усій площі родовища верхньоворотищенська світа перекрита елювіальними відкладами, які представлені мірабіліт-глазеритовою та гіпсо-глинистою шапками, що утворились внаслідок перекристалізації та розчинення соляних мінералів і накопичення гіпсу та глинистих мінералів над соляно-глинистими породами і пластами калійних руд. Потужність мірабіліт-глазеритової шапки не перевищує перших метрів і є невитриманою по площі, тоді як гіпсо-глиниста шапка досягає потужності 75 м та відіграє важливу протекторну функцію, захищаючи соляно-глинисті породи від проникнення прісних вод. Вище залягають теригенні четвертинні відклади, представлені суглинками, піском різної потужності.

Видобуток калійних руд на руднику № 2 проводили із застосуванням камерної системи. Від денної поверхні калійні пласти відді-

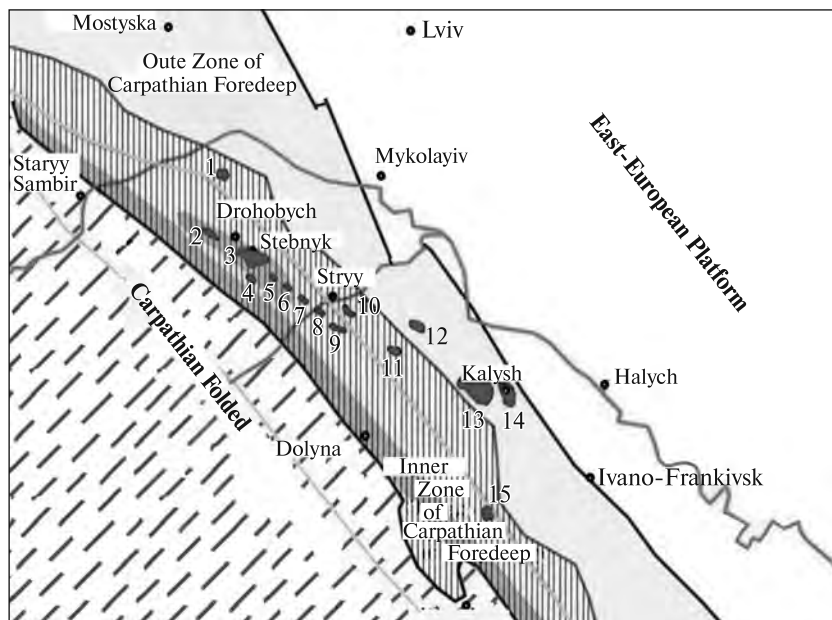


Рис. 1. Просторова локалізація родовищ калійних солей, розвіданих у межах Передкарпатського прогину: 1 – Велико-Білинське, 2 – Бориславське, 3 – Стебницьке, 4 – Помірецьке, 5 – Доброгостівське, 6 – Уличнянське, 7 – Довголуківське, 8 – Гірненське, 9 – Нинів-Смолянецьке, 10 – Моршин-Лисовицьке, 11 – Тростянецьке, 12 – Велико-Турське, 13, 14 – Калуш-Голінське, 15 – Дзвиняч-Старунське

Fig. 1. Localization of deposits of potassium salts, explored in the Carpathian foredeep: 1 – Velyka Bilyna, 2 – Boryslav, 3 – Stebnyk, 4 – Pomirtsi, 5 – Dobrohostiv, 6 – Ulychne, 7 – Dovholuka, 8 – Hirne, 9 – Nyniv-Smolyanyi, 10 – Morshyn-Lysovychi, 11 – Trostyanets, 12 – Velyka Turia, 13, 14 – Kalush-Golyn, 15 – Dzvyniach-Starunya

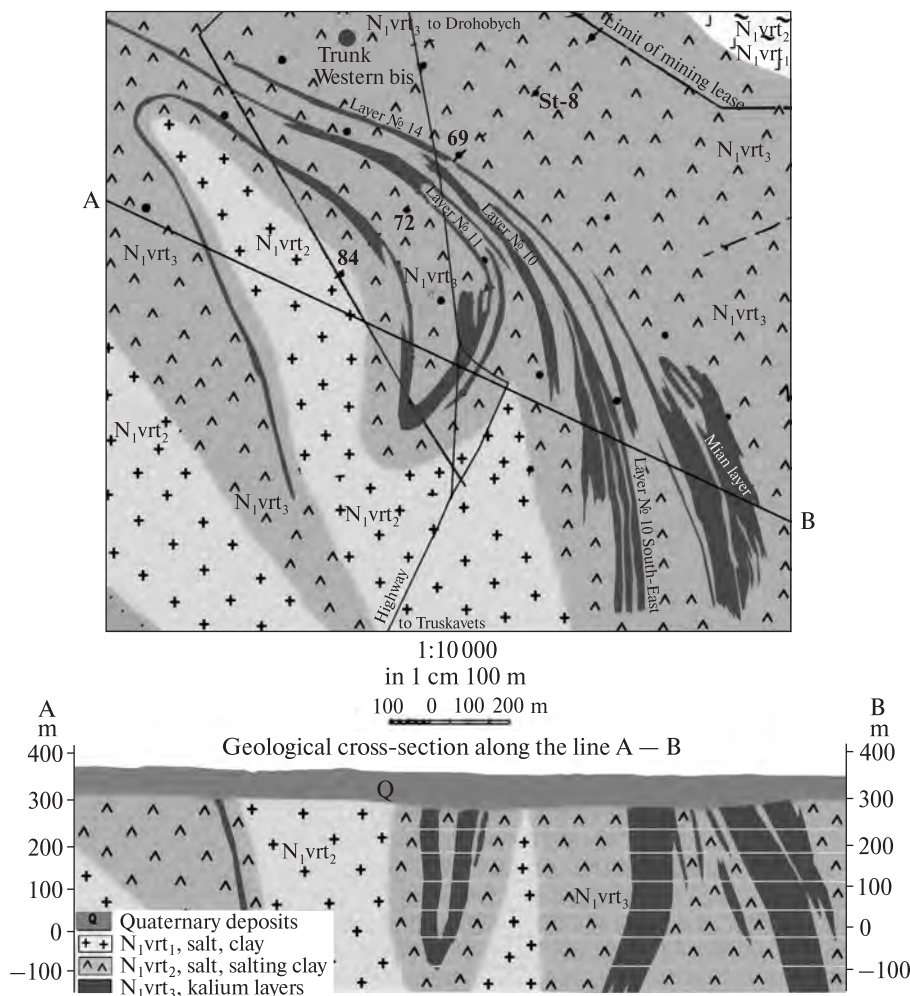


Рис. 2. Геологічна карта та розріз Стебницького родовища калійних солей гірничого відводу рудника № 2

Fig. 2. Geological map and section Stebnyk potash deposits in the field of the mine No 2

лені водозахисною стелиною потужністю 50 м. Ширина камер на першому та другому горизонтах становить 15 м, відстань між ними (ширина ціликів) — 12, міжповерхова стеліна — 16, висота камер 60 (перший горизонт) та 44 м (другий горизонт). Запаси руди, придатні для видобутку камерним способом на першому і другому горизонтах, повністю вичерпані. На третьому та четвертому горизонтах пройдені підготовчі виробки, а виїмка руди проведена лише в 10 камерах. Ширина камер на цих горизонтах 22 м, відстань між ними — 32, висота камер — 44—45. На сьогодні рівень затоплення рудника № 2 досяг середини другого горизонту (рис. 3).

За хімічним складом поклади калійних солей Стебницького родовища належать до сульфатного типу. Вони характеризуються дуже складним і своєрідним комплексом соляних мінералів і винятково великим вмістом глинистого матеріалу (10—15 %, іноді до 25%). Головні види калійних порід: каїнітовий, ланг-

бейнітовий та каїніт-лангбейнітовий. Найбільш поширені породоутворювальні мінерали: каїніт  $KMg[Cl, SO_4] \cdot 3H_2O$ , лангбейніт  $K_2Mg_2(SO_4)_3$ , меншою мірою полігаліт  $K_2Mg \times Ca_2[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$ , кізерит  $MgSO_4 \cdot H_2O$ , сільвін  $KCl$ , шеніт  $K_2Mg[SO_4]_2 \cdot 6H_2O$ , леоніт  $K_2 \times Mg[SO_4] \cdot 4H_2O$ , астраханіт  $Na_2Mg[SO_4]_2 \times 4H_2O$ , ангідрит  $CaSO_4$ , рідко трапляються вантгофіт  $Na_6Mg[SO_4]_4$ , левейт  $Na_2Mg[SO_4]_2 \times 2,5H_2O$ . Постійною складовою всіх калієвмісних соляних порід є галіт. У зонах гіпергенезу соляних відкладів утворюються гіпс  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , калушит (сингеніт)  $K_2Ca[SO_4]_2 \times H_2O$ , глазерит  $K_3Na[SO_4]_2$ , мірабіліт  $Na_2SO_4 \times 10H_2O$ , шеніт  $K_2Mg[SO_4]_2 \cdot 6H_2O$ , епсоміт  $Mg[SO_4] \cdot 7H_2O$ , гексагідрит  $Mg[SO_4] \cdot 6H_2O$ , астраханіт  $Na_2Mg[SO_4]_2 \cdot 4H_2O$ , рідко трапляються вантгофіт  $Na_6Mg[SO_4]_4$ , левейт  $Na_2Mg \times [SO_4]_2 \cdot 2,5H_2O$ .

Важливу роль у складі калійних порід відіграє глинистий і алеврито-піщаний теригенний матеріал, який також належить до ос-

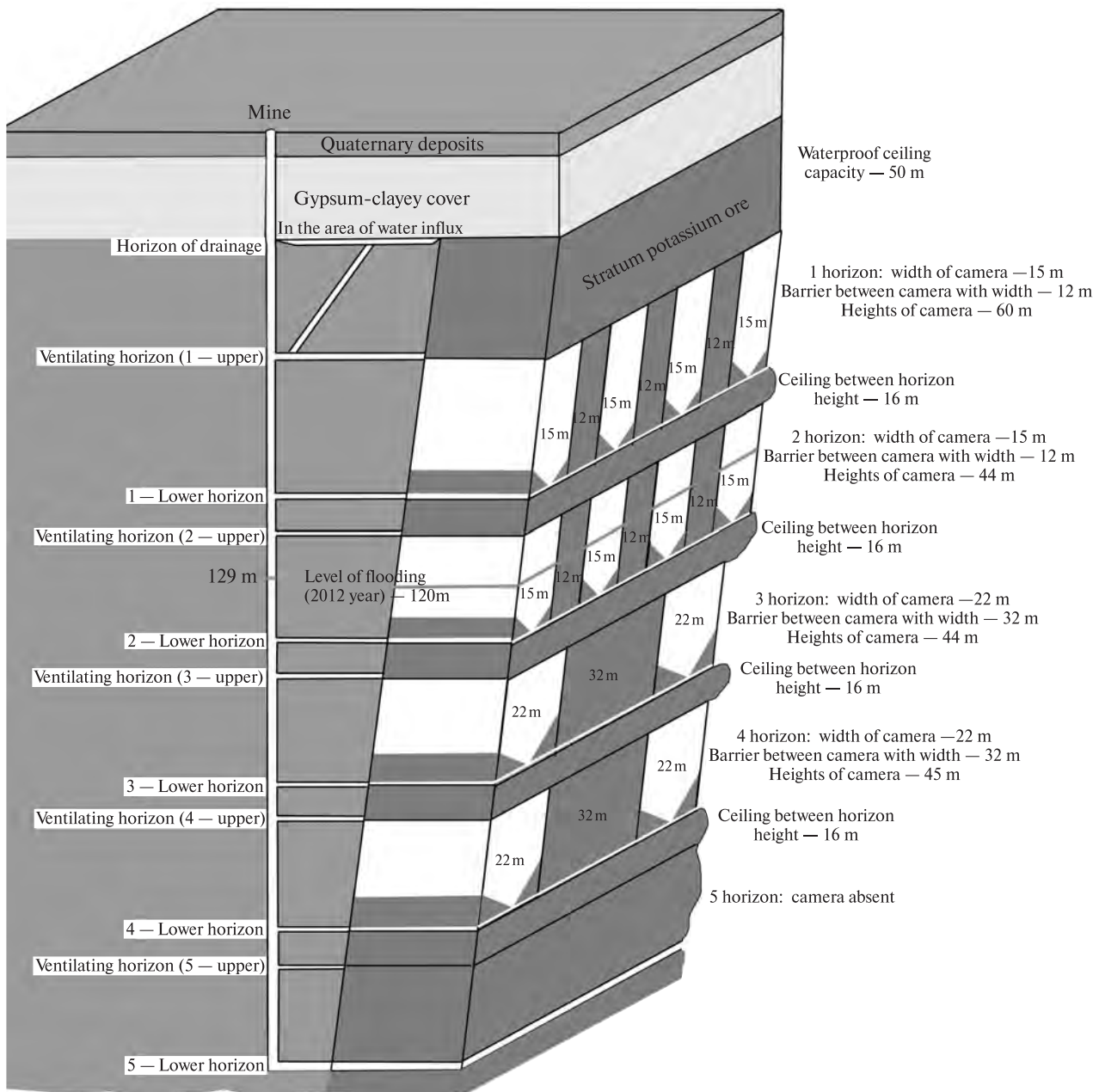


Рис. 3. Принципова 3D-модель камерної розробки рудника № 2 Стебницького родовища та сучасний рівень затоплення

Fig. 3. 3D-model of design of the mine No 2 Stebnyk deposit and the current level of flooding

новних породоутворювальних компонентів і який часто описують під загальною назвою "нерозчинний залишок". У ньому домінують кварц, хлорит та гідрослюда, менше наявні польовий шпат, кальцит і доломіт [1]. Мінеральний склад калійних руд рудника № 2 наведено у табл. 1.

Калуш-Голинське родовище розташоване в басейні річок Сівка та Лімниця в межах м. Калуш та його західних околиць. Поклади приурочені до Самбірської зони Передкарпатсько-

го прогину. Тут на розмитій поверхні відкладів крейдового віку залягають соленосні поклади стебницької та нижньобалицької світ середнього міоцену. Пласти Калуш-Голинського родовища характеризуються заляганням на глибині понад 16 м на Домбровській ділянці з поступовим зануренням до глибини 500—600 м у межах Голинської ділянки. Над калійними покладами залягають подібні за мінеральним складом до описаних для Стебницького родовища відклади елювіальної кори звітрування —

глазерит-мірабілітова та гіпсо-глиниста шапки, але меншої потужності — до 24 м. Елювій соленосних відкладів перекривається гальковиками та лесоподібним суглинком потужністю, відповідно, 2—18 та 2,5—6 м.

Поклади Калуш-Голинського, так само як і Стебницького родовища, мають різноманітний мінеральний склад. Основними мінералами є галіт, каїніт, лангбейніт. У невеликій кількості (1—8 %) наявні полігаліт, кізерит, сильвін, шеніт, епсоміт, леоніт, ангідрит і карналіт. У зоні гіпергенезу трапляються астраханіт, левеїт, епсоміт, гексагідрит, гіпс, рідко вантгофіт. Важливу роль у складі калійних порід відіграє глинистий і алеврито-піщаний теригенний матеріал, вміст якого становить 10—15 %.

Неглибоке залягання калійних руд у межах Домбровської ділянки Калуш-Голинського родовища — чинник, через який у 1960-ті рр. було запроєктовано виїмку розвіданих запасів кар'єрним способом зі складуванням некондиційних порід у солевідвалах, а відходів збагачення — у шламо- та хвостосховищах. Домбровський кар'єр був єдиним у світі кар'єром, де розробляли соляні поклади в умовах гумідного клімату, коли кількість атмосферних опадів вище від випаровування. Це потребувало вирішення низки гідрогеологічних і геоекологічних проблем: відведення русла р. Сівка за контур кар'єру, осушення четвертинного водоносного горизонту кільцевою дренажною траншеєю, транспортування на збагачувальну фабрику розсолу, що утворювався під час ви-

падання атмосферних опадів на соляні уступи, гідроізоляція берм та неробочих бортів кар'єру, боротьба з проявами соляного карсту та ерозією.

Глибина кар'єру становить 140 м, довжина — 900, ширина — 850, площа — 64 га. Об'єм виробленого простору — 52,5 млн м<sup>3</sup>. Вскришні відклади розкриті чотирма уступами висотою до 10 м з організацією селективної виїмки ґрунтово-рослинного шару, суглинків, галечників і гіпсо-глинистої "шапки", а соляно-глинисті породи з калійними рудами — уступами висотою до 15 м. Кар'єр складається з південної та північної частин. Південна частина відпрацьована у 1967—1982 рр., а північна введена в експлуатацію у 1983 р. Для перехоплення та відведення прісної води з четвертинного водоносного горизонту навколо кар'єру прокладено дренажну траншею довжиною 5,3 км, глибиною до 25 м з об'ємом 2,3 млн м<sup>3</sup>. У період експлуатації в кар'єр поступало 1,4 млн м<sup>3</sup> води на рік, у тому числі 450 м<sup>3</sup> на рік викачували із дренажної траншеї.

За таких умов з надр Домбровського кар'єру у 1960—1990-ті рр. було видобуто понад 14 млн т калійної руди, собівартість якої була на порядок меншою в порівнянні з шахтним способом видобутку. Розвіданими, але не вилученими з надр є 32 млн т калійної руди в межах Домбровського кар'єру. На сьогодні 90 % цих запасів розташовані вже нижче рівня затоплення, який на початок 2012 р. становив 270 м (рис. 4).

Таблиця 1. Мінеральний склад калійних руд рудника № 2, мас. %

Table 1. Mineral composition of potassium ore of mine No 2, mas. %

Компонент	Пласт "Основний"	Нижня лінійка пласта "Основний"	Номер пласта				Середнє по третьому та четвертому горизонтах
			10 (Пд-Сх)	10 (Пн-Зх)	11	14	
Галіт	35,4	36,4	33,4	32,8	29,0	37,3	35,9
Каїніт	26,0	32,5	31,3	41,6	40,0	23,0	29,4
Лангбейніт	14,0	8,9	4,0	2,6	0	11,5	10,6
Полігаліт	9,2	8,1	9,0	6,1	6,1	7,9	8,6
Кізерит	2,3	1,5	4,5	0,4	0,4	0	0,5
Епсоміт	0	0	0	1,4	1,4	3,4	0
Сильвін	0,8	0,5	2,1	0,7	0,7	1,6	0,6
Карналіт	0,1	0	0,5	0	0,3	0,3	0,2
Ангідрит	0	0	0	0	2,9	0	0
Нерозчинний залишок	15,3	12,4	15,6	14,9	20,2	12,4	14,3

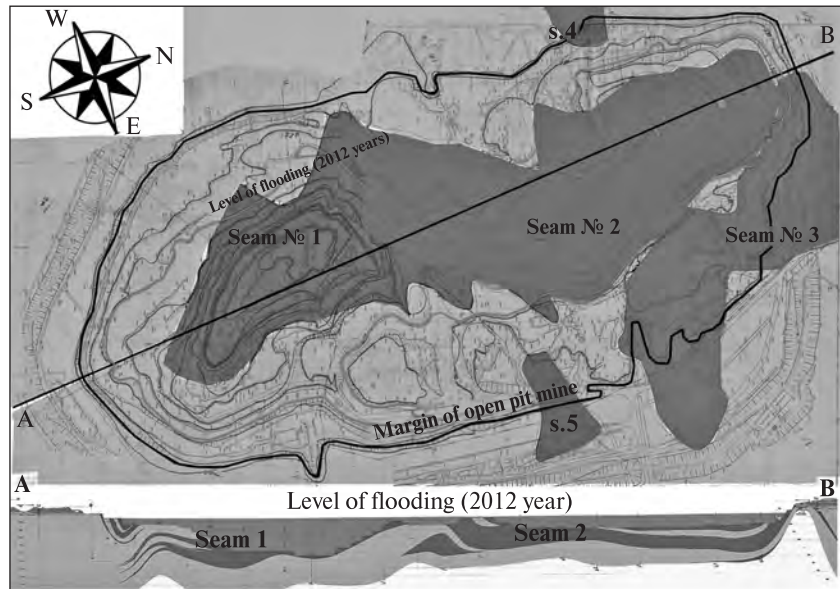


Рис. 4. Геологічна карта і розріз Домбровського кар'єру, сучасний та кінцевий рівні затоплення  
 Fig. 4. Geological map and section of the Dombrovo quarry, current and final levels of flooding

**Характеристика водопритоків та їх агресивності по відношенню до легкорозчинних мінералів.** Проблеми з водопритоком у рудник № 2 у Стебнику почались ще у 1978 р., коли у видобувні камери почала надходити вода з відкладів, що залягають вище. Для утримання та відведення вод вжито різних заходів: від проходження дренажних виробок до тампонування карстових порожнин. У такий спосіб до 2001 р. води, що потрапляли у шахту, затримувались на дренажному горизонті та відкачувались на денну поверхню. Однак унаслідок відключення енергопостачання з причини заборгованості спинились водовідливні насоси, вода переповнила водозбірні ємності, розмила соляні перемички і затопила п'ятий горизонт рудника № 2. У січні 2001 р. урядова комісія з надзвичайних ситуацій ухвалила рішення щодо недоцільності осушення затоп-

лених виробок. У 2002—2003 рр., за вихідними даними Відділення гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України, ВАТ "Гірхімпром" було розроблено "Комплексний проєкт консервації рудника № 2 і рекультивації порушених земель Стебницького ДГХП "Полімінерал", який затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України № 166-р від 24.03.2004 р.

Згідно з проєктом передбачено затоплення гірничих виробок карстовими надсолевими водами та скидання на периферійні ділянки відроблених пластів і донасичення розсолів хвостосховища до 360 г/л, а також подальше їх скидання через стовбури шахти. На рис. 5, 6 показано, що від початку водопритоків у рудник № 2 в 1998 р. середньодобовий об'єм притоку щороку зростає, а загальна мінералізація затриманої води постійно зменшувалась.

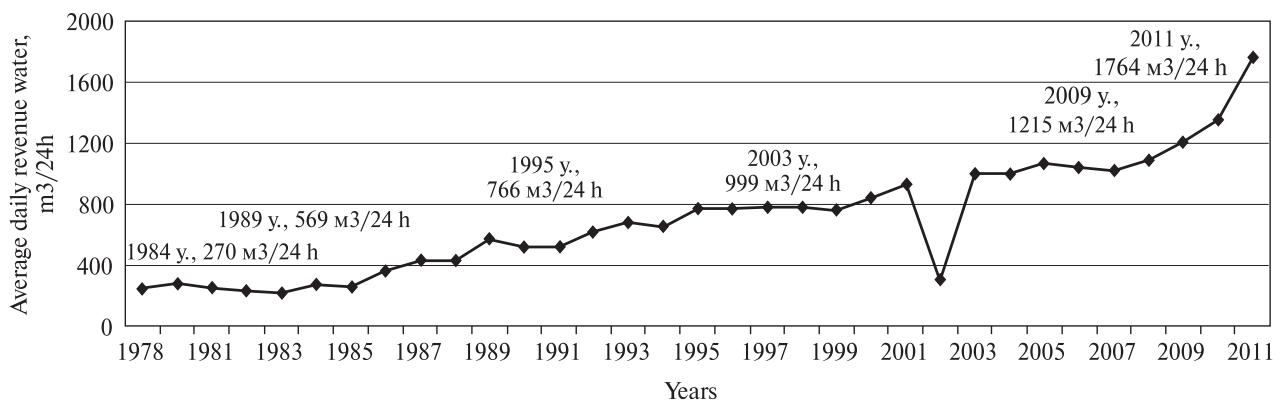


Рис. 5. Об'єми водопритоків у рудник № 2 Стебницького ДГХП "Полімінерал" з 1978 по 2011 р.

Fig. 5. Volumes of water inflow in mine No 2 of the Stebnyk deposit mine "Polimineral" from 1978 to 2011

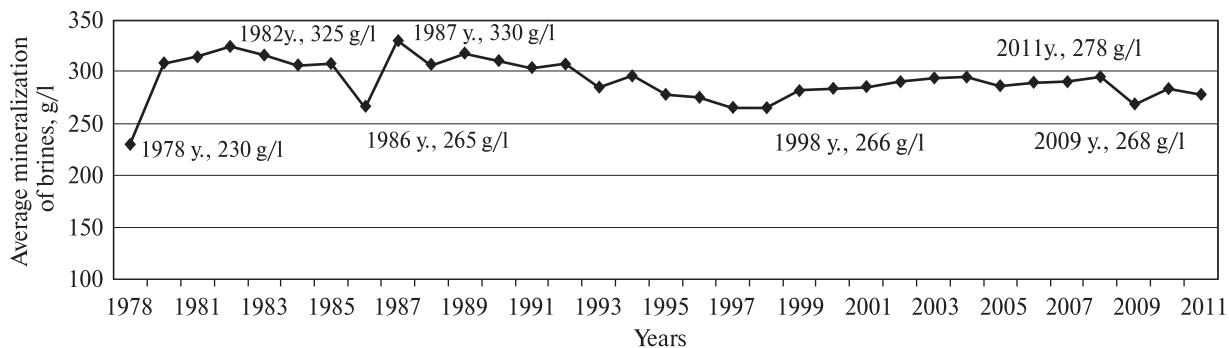


Рис. 6. Середньорічна мінералізація розсолів, що надходили до рудника № 2 Стебницького ДГХП "Полімінерал" з 1978 по 2011 р. (до січня 2001 р. ці розсоли відпомповували, а потім затоплювали соляну шахту)

Fig. 6. Average annual salt concentration of brine from mine No 2 of the Stebnyk deposit mine "Polimineral" from 1978 to 2011 (before 2001, January this brine was evacuated with following flooding mine)

Проблеми на Домбровському кар'єрі у Калуші почалися після 1985 р., коли у гонитві за дотриманням планових показників видобутку калійних солей, нехтуючи проектними рішеннями, була порушена цілісність північного борту. У 2003—2005 рр. це призвело до руйнування внутрішньокар'єрного поля і з'єднання його з дренажною траншеєю, інтенсифікувало розвиток соляного карсту і майже удвічі збільшило площу водозбору атмосферних опадів. Після паводку 2008 р. остаточно зруйнувалась перемичка між внутрішнім бортом та кільцевою дренажною траншеєю, внаслідок чого ґрунтові води четвертинного водоносного горизонту почали стікати у кар'єр. Складний економічний стан ДП "Калійний завод" призвів до припинення відкачування дренажних вод у зовнішні водойми і вся вода, що надходить з цього водоносного горизонту, почала затоплювати кар'єр.

Таким чином, починаючи з 2008 р. відбувається затоплення кар'єру, а на його місці утворюється озеро. На думку В.В. Доліна та ін. [3], воно обов'язково буде солоним, а за результатами досліджень А.М. Гайдіна та В.О. Дяківа, за умови гідроізоляції солевідвалів та хвостосховищ, має бути прісним [2]. Відновити ді-

яльність кар'єру неможливо, оскільки скидання розсолів у гідромережу неприпустиме з екологічних міркувань. Інші технічні рішення, наприклад, заповнення розсолами виробленого простору Стебницького рудника, закачування його в глибокі підземні формації або випарювання, потребують великих витрат коштів і часу.

У 2008 р. розроблено проект мокрої консервації Домбровського кар'єру. Він передбачає скидання розсолів з хвостосховищ у виїмки кар'єру нижче гіпсо-глинистої шапки, рекультивацию солевідвалів, шламосховища, хвостосховищ, акумулювальних басейнів, внутрішньокар'єрного відвалу промислових відходів та формування прісноводної товщі. За концентрацією солей води, що надходять до Домбровського кар'єру, належать до двох типів: прісні води четвертинного водоносного горизонту і розбавлені мінералізовані води із солевідвалів та хвостосховищ з мінералізацією від 10 до 100 г/л. Об'єм води, що надходить, починаючи з 2008 р. складає 2,5—3,5 млн м<sup>3</sup> на рік.

Враховуючи полімінеральний склад руд Стебницького та Калуш-Голинського родовищ, агресивність ненасичених солями роз-

Таблиця 2. Хімічний склад рівноважних розчинів розсолів у руднику № 2 (Стебник) і Домбровському кар'єрі  
Table 2. Chemical composition of equilibrium solutions of brines in mine No 2 (Stebnyk) and in the Dombrovo quarry

Місце та глибина відбору проби	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Мінералізація	Густина, кг/л
	г/л								
Рудник № 2, камера 24, гл. 7 м	97	29	0,25	17	176	69	0,3	388,5	1,261
Дно Домбровського кар'єру, гл. 70 м	85	34	0,1	23	156	75	0,2	373,3	1,260

чинів до легкорозчинних мінералів визначається не індивідуальною розчинністю окремого, навіть найбільш розчинного мінералу, а інтегральним значенням концентрації солей, яка є рівноважною з соляно-глинистими породами. У період затоплення третього горизонту (2007 р.) було відібрано пробу ропи із камери № 24 рудника № 2 на глибині 7 м, яка є рівноважною з полімінеральними рудами калійної шахти. Аналогічну пробу рівноважної ропи було відібрано з дна Домбровського кар'єру. Результати аналізів наведено у табл. 2.

Як видно з табл. 2, мінералізація рівноважних з соляно-глинистими породами розчинів перевищує 360 г/л, досягає 388,5, інколи може перевищувати 400. Відповідно, води з нижчою від 360 г/л мінералізацією є агресивними до легкорозчинних мінералів калійних руд.

**Мінералогічні протектори дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття.** Завдяки проведеним дослідженням встановлено, що під час взаємодії агресивних розчинів з легкорозчинними мінералами, останні "захищаються" за рахунок специфічних динамічних механізмів, що названі нами *мінералогічні протектори дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття*. Вони відіграють провідну роль у блокуванні руйнівних процесів, формуванні стійкого профілю та хімічного складу. Нижче розглянуто три таких протектори.

1. *Полімінеральний склад затоплюваних покладів, різна швидкість розчинення та формування неоднорідної, шорсткуватої, слабопохилої поверхні у зануреній ділянці ніші вилуговування.* Домінантними мінералами у мінеральному складі Стебницького та Калуш-Голинського родовищ є галіт, каїніт та лангбейніт. Вони є найменш розчинними серед легкорозчинних мінералів калійних руд (табл. 3).

Швидкість розчинення легкорозчинних мінералів власне калійних руд Прикарпаття в прісній воді, за експериментальними даними різних дослідників, коливається від 19 до 35 м/рік. За даними Я.М. Семчука [12], швидкість їх розчинення дорівнює 19 м/рік. А.Я. Кривоусов [6] в результаті великомасштабних досліджень встановив середню швидкість розчинення для різних зразків — 29,7 м/рік. За даними О.В. Палійчук [9],

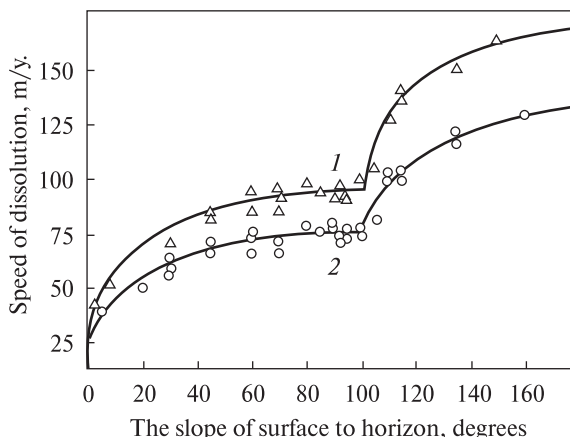


Рис. 7. Залежність швидкості розчинення сільвіну (1) і галіту (2) від кута нахилу поверхні розчинення за 25 °C (за даними П.М. Дудка [4])

Fig. 7. Dependence of sylvine (1) and halite (2) dissolution rate on the dissolution surface slope over 25 °C (by P.M. Dudko [4])

швидкість розчинення соляних порід у відкості становить близько 35 м/рік.

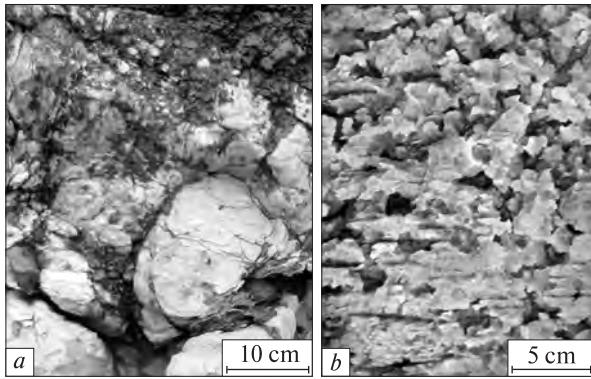
Швидкість розчинення солей залежить також від розташування поверхні, що контактує з розчином. На похилих та вертикальних поверхнях соляно-глинистих порід утворюється шар насиченого розчину, який під впливом гравітації стікає донизу. Зі стелі насичений розчин стікає у вигляді крапель і потоків. Залежність швидкості розчинення від кута між поверхнею досліджуваного зразка і агресивного до нього водного розчину встановлена П.М. Дудком [4] та показана на рис. 7.

З цього графіка можна зробити висновок, що у разі затоплення гірничих виробок стеля розчиняється приблизно удвічі швидше, ніж стіни. Донні ділянки виробок (кут ухилу близький до 0°) взагалі не розчиняються з двох причин: по-перше, вони контактують з насиченим розчином, по-друге, вкриваються нерозчинними домішками (гідроізоляційним

Таблиця 3. Швидкість розчинення деяких соляних мінералів  
Table 3. Dissolution rate of some salt minerals

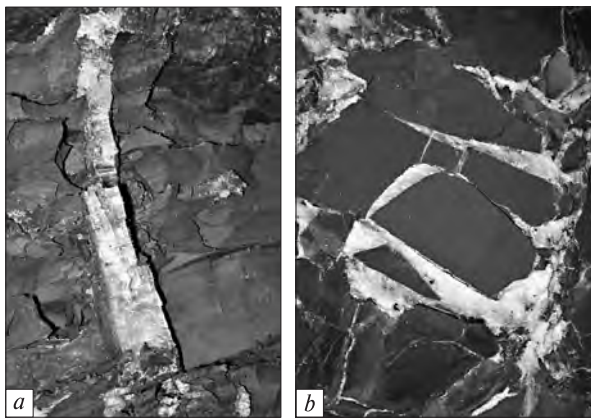
Мінерал	Швидкість	
	мм/год	м/рік
Сільвін	65	570
Шеніт	22	192
Карналіт	100	876
Каїніт	9	79
Лангбейніт	0,09	8
Галіт	29	254





*Рис. 8.* Різновиди поверхонь розчинення: *a* — неоднорідна та шорсткувата полігаліту; *b* — занозиста і шпильчаста лангбейніту

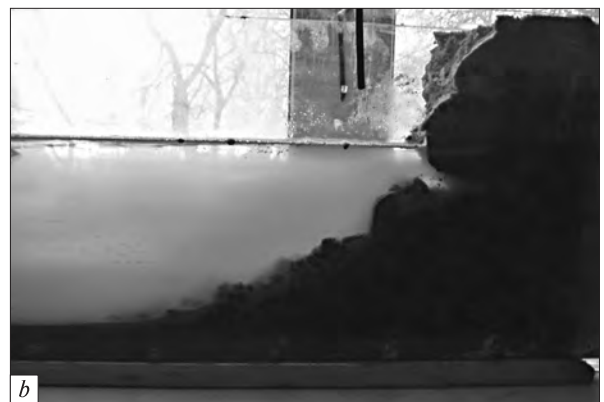
*Fig. 8.* Species of the surface dissolution: *a* — heterogeneous and rough of polyhalite; *b* — needle and sharp of langbeinite



*Рис. 9.* Типові асоціації легко- та нерозчинних у воді мінералів: *a* — прожилок волокнистого галіту у суцільному глинистому прошарку; *b* — брекчієподібні уламки у галіт-сильвіновій облямівці

*Fig. 9.* Typical associations of easily soluble and not-soluble minerals: *a* — vein of fibrous halite in the continuous clay layer; *b* — brecciated fragments in the halite-sylvine framing

прошарком), що осаджуються з дезінтегрованих соляно-глинистих порід під час їх розчинення. На нахилених поверхнях соляно-глинистих порід за значень кута нахилу  $0-30^\circ$  швидкість обернено-пропорційна до потужності гідроізоляційного шару. За значень кута  $30-90^\circ$  між поверхнею досліджуваного зразка і розчином зростання швидкості розчинення пов'язане зі зростанням часу міжфазового контакту. Швидкість розчинення вертикальних поверхонь обмежується не часом контакту агресивного флюїду з соляними мінералами, а кількістю останніх, яка є максимальною біля стелі (за кута  $180^\circ$ ).



*Рис. 10.* Форма ніші вилуговування (*a*) та наслідки її обвалення (*b*). Експериментальне моделювання

*Fig. 10.* Form of lixiviation niche (*a*) and consequences of its crumbling (*b*). Experimental modeling

Як показують польові спостереження та експериментальні дослідження [5], поверхня розчинення, особливо малорозчинних у воді мінералів, у затопленій частині ніші вилуговування є неоднорідною, шорсткуватою, іноді занозистою та шпильчастою. Як видно з рис. 8, така поверхня, навіть якщо кут її нахилу є значним (до  $30-35^\circ$ ), є дуже сприятливою для затримання та фіксації уламків нерозчинних у воді мінералів.

2. *Наявність нерозчинних мінералів у калійних рудах та солевмісних породах та їх вивільнення з корінних відкладів під час розчинення та осадження на неоднорідну, шорсткувату, слабо-нахилену поверхню у зануреній ділянці ніші вилуговування.* Легкорозчинні соляні мінерали Стебницького та Калуш-Голинського родовищ тісно асоціюють із нерозчинними, насамперед з гідрослюдою, хлоритом, кварцом: від включень і міжзернових інтерстицій до різних за потужністю прошарків та брекчієподібних структур (рис. 9). У процесі вилуговування легкорозчинних мінералів глинисті до-

*Рис. 11.* Ніша вилуговування на рівні затоплення шаруватої кайнітової породи у північно-західній частині Домбровського кар'єру

*Fig. 11.* Lixiviation niche on the level of flooding of the layered kainite-langbeinite rock in the north-western part of the Dombrovo quarry



*Рис. 12.* Субвертикальні заколи та обвальні глиби зруйнованої ніші вилуговування у південно-східній частині Домбровського кар'єру

*Fig. 12.* Subvertical loosened rocks and collapse blocks of the blasted lixiviation niche in the south-east part of the Dombrovo quarry

мішки вивільняються з включень та інтерстицій, переходять у завислий стан та осаджуються на дні чи інших поверхнях. Великі прошарки глинистих мінералів в умовах необмеженого притоку води, хвилеприбійної дії та обвалів інтенсивно дезінтегруються, обводнюються й опливають під дією гравітації. При цьому іони, що перейшли у розчин, можуть мігрувати на значну відстань від корінного залягання легкорозчинних мінералів. Завислі частинки та опливини із глинистих домішок осаджуються на місці залягання чи безпосередньо поблизу нього. Внаслідок цього у процесі підйому рівня затоплення, за умов наявності визначеної кількості теригенного матеріалу, їх потужність у перевідкладеному вигляді буде постійно зростати, блокуючи шлях надходження недосиченої ропи до легкорозчинних мінералів.

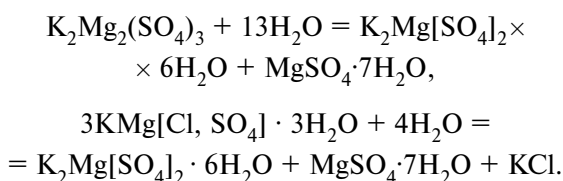
3. *Армування та гравітаційне ущільнення осаджених мінералів обвальними глибами, уламками, щебенем корінних порід з їх подальшою перекристалізацією, первинною цементацією та осушенням осадка.* Наслідком вилуговування

легкорозчинних мінералів, а також дезінтеграції та осадження глинистих мінералів є зародження та поглиблення ніші вилуговування, із "зависанням" над рівнем водного дзеркала консолі солених товщ. Поглиблення ніші вилуговування призводить до посилення гравітаційного навантаження на "завислу" консоль, що спричиняє зародження субвертикальних заколів. Ці заколи порушують стійкість бортів та призводять до їх обвалювання з різною інтенсивністю. Усе це чітко спостерігається у Домбровського кар'єрі та унаочнено в його експериментальній моделі (рис. 10—12).

При цьому щебінь та дрібні уламки, що потрапляють до мулистого осадка, внаслідок ерозійного розмиву, зсувів та обвалів виконують роль армувальних штопорів, які мінімізують опливання осаду вниз по підводному схилу. Тоді як великі обвальні глиби гравітаційно ущільнюються та фіксують мулистий осадок. Обидва процеси сприяють забутовуванню підводних схилів та мінімізації прояву явищ опливання. За рахунок цього нерозчинний

матеріал, осідаючи на шорстку поверхню підводного схилу, утворює підпірну призму під кутом природного відкосу. Найважливішим наслідком фізико-хімічної та механічної дезінтеграції соляно-глинистих порід є їх самоізоляція та консолідація гідроізолювального прошарку, коли нерозчинний осад утворив стійкий механічний бар'єр між водною товщею та корінними соленосними відкладами.

Глинистий осадок, який випадає на неоднорідну вилуговану поверхню, блокує її подальше розчинення. Проте за умов наявності насиченої ропи, ізольованої від агресивного водного середовища, створюються передумови до перекристалізації та первинної цементації осада. Механізм цього процесу пояснюється шейнітизацією та кристалізацією епсоміту та силвіну під час взаємодії з водою поверхонь головних соляних мінералів — каїніту та лангбейніту:



При цьому такий механізм вилучення води призводить до додаткового ущільнення та зневоднення осада.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено, що реальний масштаб дезінтеграції соляно-глинистих порід, у порівнянні з експериментально визначеним [6, 9, 11, 12] за "ідеальних" умов, є на порядок меншим. Борти Домбровського кар'єру, які піддаються дії переважно прісних високоагресивних по відношенню до легкорозчинних мінералів вод, за чотири роки, відповідно до визначеної швидкості розчинення — від 19 до 35 м на рік, повинні були б зруйнуватись на десятки метрів. Насправді глибина руйнування солевмісних бортів за весь час спостережень не перевищує 7—9 м.

Подібна ситуація спостерігається і у процесі затоплення рудника № 2 у Стебнику, де цілики у камерах № 110 та 127 на другому горизонті пласта № 10, за розрахунками за дефіциту солей у ропі, що потрапляє у гірничі виробки, повинні були б вже зруйнуватись. Однак критичних деформацій на сьогодні там не зафіксовано.

На наш погляд, однією з причин такого стану є дія виявлених та описаних нами міне-

ралогічних протекторів дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття. У складі затоплюваних покладів домінують каїніт та лангбейніт, найменш розчинні з соляних мінералів. Різна швидкість розчинення їх призводить до формування неоднорідної, шорсткуватої, слабо нахиленої поверхні у зануреній ділянці ніші вилуговання, що є першим мінералогічним протектором. Другим мінералогічним протектором є те, що ця поверхня вкривається шаром глинистих мінералів, які вивільнюються внаслідок розчинення калійних руд та солевмісних порід. Ослаблені ніші вилуговання періодично обвалюються, армуючи та гравітаційно ущільнюючи свіжий осадок глинами, уламками, щебенем корінних порід. Ізольовані під глинистим осадком соляні мінерали перекристалізуються, цементуючи та зневоднюючи осадок — стійкий гідроізоляційний шар між агресивним до соляних мінералів середовищем та соляно-глинистими породами, що є третім мінералогічним протектором.

*Автори вдячні виконавчому директору Відділення гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України кандидату геолого-мінералогічних наук А.М. Гайдіну за цінні зауваження та поради під час написання статті.*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Білоніжка П.М. Типоморфізм глинистих мінералів соленосних відкладів Передкарпаття // Мінерал. зб. Львів. ун-ту. — 1993. — № 46, вип. 1. — С. 157—161.
2. Гайдін А.М., Дяків В.О. Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру // Зб. наук. пр. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. № 7. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. — Луцьк, 2010. — С. 50—64.
3. Долін В.В., Яковлев Є.О., Кузьменко Е.Д., Бараненко Б.Т. Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд // Екол. безпека та збалансоване ресурсокористування. — 2010. — № 1. — С. 74—87.
4. Дудко П.М. Подземное выщелачивание солей. — М.: Недра, 1972. — 160 с.
5. Дяків В. Експериментальне моделювання кінетики розчинення (дезінтеграції) галопелітових мінеральних асоціацій в агресивній ропі з рудника № 2 Стебницького калійного родовища // Мінерал. зб. Львів. ун-ту. — 2007. — № 57, вип. 2. — С. 110—121.
6. Кривоусов А.Я. Результаты наблюдений за процессом выщелачивания и разрушения соляных пород в уступах карьера. — Л.: ВНИИГ, 1974. — С. 17.
7. Крижанівський Є.І., Кузьменко Е.Д., Палійчук М.В., Бараненко Б.Т. Техногенна ситуація в районі Ка-

- луського промислового вузла // *Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу.* — 2008. — № 2. — С. 3—9.
8. *Лазаренко Є.К.* Курс мінералогії. — К. : Вища шк., 1970. — 599 с.
9. *Палійчук О.В.* Експериментальні дослідження розчинення соляних уступів Домбровського кар'єру шляхом зрошування // *Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу.* — 2008. — № 1 (17). — С. 164—170.
10. *Рудько Г.І., Шкіца Л.Є.* Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* — 2001. — № 5—6. — С. 68—71.
11. *Семчук Я.М.* Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття) : Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Івано-Франк. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ, 1995. — 46 с.
12. *Семчук Я.М., Малишевська О.С.* Дослідження процесів розчинення та вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплених калійних шахт // *Хім. пром-сть України.* — 2002. — № 1. — С. 9—12.

Надійшла 17.09.2012

*В.А. Дяків, В.І. Павлишин, Н.Т. Билък*

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ПРОТЕКТОРЫ  
ДЕЗИНТЕГРАЦИИ СОЛЯНО-ГЛИНИСТЫХ  
ПОРОД В ПРОЦЕССЕ МОКРОЙ КОНСЕРВАЦИИ  
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КАЛИЙНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРЕДКАРПАТЯ**

Проанализированы закономерности мокрой консервации рудника № 2 в пределах Стебницкого месторождения калийных солей и Домбровского карьера в пределах Калуш-Голинского месторождения. Установлены три главные минералогические протекторы дезинтеграции соляно-глинистых пород в процессе мокрой консервации горных выработок калийных месторождений Предкарпатья: 1 — полиминеральный состав затопливаемых залежей, разная скорость растворения солевых минералов и формирование не-

однородной, шероховатой, слабонаклонной поверхности в погруженном участке ниши выщелачивания; 2 — наличие нерастворимых минералов в калийных рудах и солевмещающих породах, с их высвобождением из коренных отложений и осаждением на растворенную поверхность; 3 — армирование и гравитационное уплотнение осажденных минералов обвальными глыбами, обломками, щебнем коренных пород с их перекристаллизацией, первичной цементацией и осушением осадка. Выявленные и описанные минералогические протекторы — одна из важных причин того, что реальный масштаб дезинтеграции соляно-глинистых пород на порядок меньше, чем экспериментально определенный в "идеальных" физико-химических условиях.

*V.O. Dyakiv, V.I. Pavlyshyn, N.T. Bilyk*

**MINERALOGICAL PROTECTORS  
OF DISINTEGRATION OF SALT-CLAY ROCKS  
IN THE PROCESS OF WET CONSERVATION  
OF POTASSIUM DEPOSITS WORKINGS  
IN THE CARPATHIAN FOREDEEP**

The mechanisms of wet conservation of mine No 2 (Stebnyk deposit of potassium salts) and Dombrovo quarry (Kalush-Holin deposit) have been analyzed. The authors have identified three main mineralogical protectors of salt-clay rocks disintegration in the process of wet conservation of the potassium deposits workings in the Carpathian foredeep: 1 — polymineral composition of the flooded deposits, different rate of dissolution and forming of heterogeneous, rough, poorly sloping surface in the submerged area of the niche of leaching; 2 — presence of insoluble minerals in the potassium ores and saline beds, with their release from the native deposits and sedimentation on the dissolved surface; 3 — reinforcement and gravitational compression of sedimentations minerals by the collapse blocks, fragments, macadam of native rocks with their recrystallization, primary cementation and drainage of sediment. The identified and described mineralogical protectors are important causes of salt-clay rocks disintegration and explain the fact why its real level is lower by and order than that defined in "ideal" physico-chemical conditions.