

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗЧИНЕННЯ СОЛЯНИХ УСТУПІВ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ ШЛЯХОМ ЗРОШУВАННЯ

Л.В.Палійчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Приведены сведения по оценке последствий влияния атмосферных осадков на соляные породы и образования рассолов. Установлены закономерности формирования профилей откосов и образования на солевых поверхностях высокотемпературных рассолов. Произведен расчет процентного содержания солей в рассоле и их состава с использованием среднегодовой суммы солей для разновидностей калийных руд*

*Cited evaluating data on the consequences of the atmospheric precipitates' influence on hydrochloric rocks and formation of brines. Determined regularities of slope profiles' forming and formation of high-temperature brines on the salt surfaces. The calculation of the percentage of salts in brine and their composition is made using the average annual amount of salts for varieties of potassium ores*

При проектуванні кар'єрів з видобутку калійних руд необхідно враховувати специфічні особливості їх експлуатації у складних метеорологічних умовах Прикарпаття, викликаних легкою розчинністю соляних порід атмосферними опадами. Це призводить до утворення високомінералізованих розсолів значних об'ємів, зміни кутів відкосів уступів кар'єру, утворення карстів та руйнування уступів.

Для кількісної оцінки наслідків впливу атмосферних опадів на соляні породи нами проведено експериментальні дослідження на уступах Домбровського кар'єру.

Гірничотехнічні умови проведення дослідних експериментальних робіт у кар'єрі такі: на західному борті кар'єру був вибраний відкос довжиною 15 м. Досліджувальну частину відкосу вирівнювали відбійним молотком, очищали від пилу і дрібних частинок сольової породи. На бермі відкосу улаштували зумпф для відбору проб мінералізованої води і розсолів. Перпендикулярно до відкосу через 2,5 м закладали парні репери для заміру глибини розчинення солей на відкосі уступу, який складений лангбейніт-каїнітовою рудою, хімічний склад якої наведено у табл. 1.

З орошувачів прісна вода у вигляді дрібних крапель, які поєднувались з солями, перетворювались у розсоли і стікали у посудину відкосом, який зрошувався безперервно протягом 30 хв. П'ять таких дощів складала цикл. Дошування відкосу проводилося вісімнадцятьма циклами, що складало 90 дощів, інтенсивністю 0,32 мм/хв.

Із врахуванням природних дощів загальна кількість опадів за час проведення дошування склала 800,4 мм і дорівнює середньорічній кількості опадів у Прикарпатті. Інтенсивність дощів вимірювалася опадоміром конструкції Трет'якова.

Проби розсолу відбиралися після кожного дощу, циклу дощів або через кожні 2,5 м по всій довжині відкосу, або в його нижній частині.

Для визначення концентрації розсолів, що утворюються при підвищенні температури во-

ди, проводилися дослідні роботи з температурою останньої – 15 і 20°C.

Шар мінералізованих вод і розсолів, що стікає з відкосу, збільшував свою товщину зверху до низу за рахунок додавання дощових вод, які випадають із зрошувачів, розміщених нижче. Додаткові дощові води у міру стікання перемішувалися з розсолами, які вже стікають, і разом насичувалися солями. Природньо, що максимальний шар розсолів був на нижній брівці відкосу.

Кількість розсолу ( $Q_{\text{заг}}$ ), який стікає з ділянок відкосу можна виразити так:

$$15.0 - 12.5 \text{ м} = q_1$$

$$15.0 - 10.0 \text{ м} = q_1 + q_2$$

$$15.0 - 7.5 \text{ м} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$15.0 - 5.0 \text{ м} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

$$15.0 - 2.5 \text{ м} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$$

$$15.0 - 0.0 \text{ м} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$$

Насичення солями дощових вод по довжині відкосу (через кожні 2,5 м) визначали шляхом відбору проб і їх аналізу одночасно на кожній відмітці (зверху до низу) у 7, 11, 15 і 17-му циклах дощів. Води насичуються солями в міру випадання дощів на відкос. По довжині відкосу води насичуються солями неоднаково. Тому і концентрація солей в розсолах є неоднаковою. Насичення вод на відкосі уступу висотою 12,4 м зображено на рис. 1. Починаючи з позначки 15,0 м, сума солей в розсолах на довжині 7,7 м збільшувалася і на позначці 7,5 м підвищувалася до максимуму ( $\sum \text{солей} = 299,87 \text{ г/дм}^3$ , наприклад, в 17 циклі дощів), а потім повільно стискалася до мінімуму у нижній частині відкосу ( $\sum \text{солей} = 216,05 \text{ г/дм}^3$ ).

Така величина суми солей в розсолі пояснюється зменшенням вмістом у відкосі NaCl (з 42,47% на ділянці в інтервалі 5,0–2,5 м до 30,65% на 2,5–0,0 м), підвищенням нерозчинного залишку (з 5,4% на ділянці в інтервалі 5,0–2,5 м до 9% на 2,5–0,0 м) неоднорідним скла-

Таблиця 1 — Хімічний склад порід досліджуваного відкосу

Інтервал опробування по довжині відкосу, м	Вміст, %								
	$MgSO_4$	$K_2SO_4$	$KCl$	$NaCl$	$CaSO_4$	Нероз- чинний залишок (н.з.)	$H_2O$	Сума	$K_2O$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15,0-12,5	20,23	16,98	4,15	37,21	1,94	9,68	9,88	100,07	11,80
12,5-10,0	23,48	20,68	0,79	42,94	1,16	5,80	5,84	100,69	11,70
10,0-7,5	24,44	18,07	1,40	38,15	2,67	7,56	7,84	100,13	10,70
7,5-5,0	21,43	18,29	—	45,60	1,430	6,80	7,22	100,77	9,20
5,0-2,5	23,48	22,43	0,30	42,47	1,22	5,40	5,64	100,94	12,30
2,5-0,0	23,84	18,94	5,44	30,65	2,02	9,00	9,14	99,03	12,70

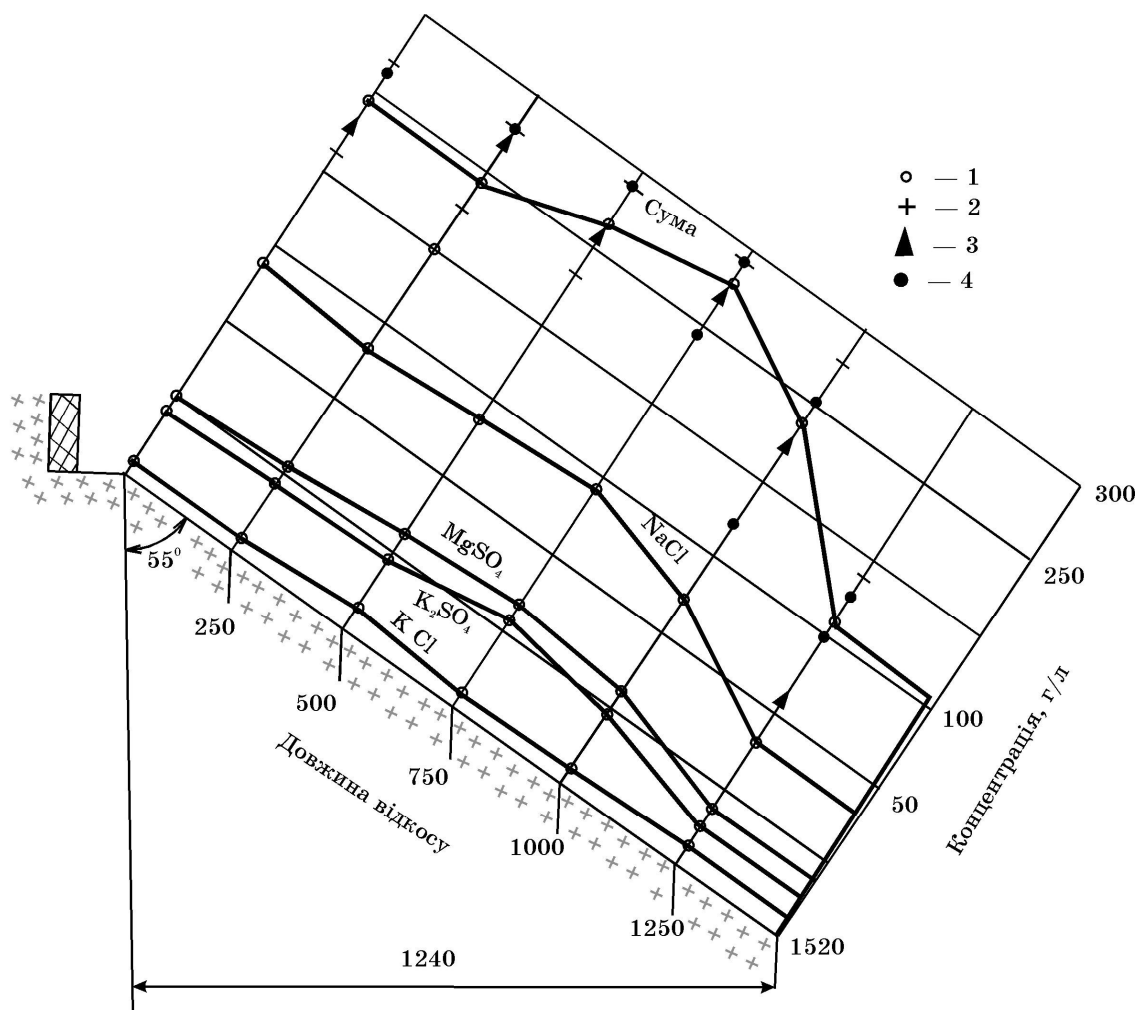


Рисунок 1 — Зміна вмісту та складу солей в розсолах в залежності від довжини відкосу  
Цикли дощів: 1 – 7; 2 – 11; 3 – 15; 4 – 17

дом лангбейніт-каїнітової руди і збільшеної товщини шару розсолу, що стікає з відкосу.

Середня сума солей у розсолах також коливається у межах  $152,52-276,38 \text{ г/дм}^3$  і збільшується у середній частині відкосу (до позначки  $7,5 \text{ г/дм}^3$ ), а потім дещо знижується (до  $267,98 \text{ г/дм}^3$ ) і залишається приблизно сталою. Зменшення суми солей пояснюється великим шаром нерозчинного залишку і важкорозчинних солей, що залишаються під час розчинення

на місці, а також при знесенні з верхніх ділянок розсолом, що стікає. Вміст окремих солей у розсолах, відібраних по довжині відкосу, коливаються в межах ( $MgSO_4 - 20,23 \div 24,44\%$ ;  $K_2SO_4 - 16,98 \div 22,43\%$ ;  $KCl - 0,00 \div 5,44\%$ ;  $NaCl - 30,65 \div 45,60\%$ ).

Порівнюючи склад і процентний вміст солей, які зазнали вимивання у відкосі з солями по сухому залишку, що знаходяться в розсолі,

Таблиця 2 — Мінералізація розсолів після окремих зрошень відкоси

Цикли дощів	Дош					Середня сума солей в розсолі, г/дм <sup>3</sup>
	I-й	II-й	III-й	IV-й	V-й	
1	2	3	4	5	6	7
6	277,43	231,91	264,93	265,75	269,52	261,91
10	281,80	260,11	240,64	255,55	237,17	255,05
14	241,82	231,31	249,10	258,59	261,48	248,46

Таблиця 3 — Мінералізація розсолів в залежності від різновидностей калійних руд

№ проби	Вміст солей у розсолі, г/дм <sup>3</sup>							донасичення, г
	Початкового							
	MgSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	NaCl	CaSO <sub>4</sub>	сума солей	K <sub>2</sub> O	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	67,91	41,80	15,70	178,10	0,34	303,85	32,55	–
11	62,13	45,29	14,70	149,80	-	271,92	33,81	–
16	54,42	46,74	2,85	138,10	0,14	245,25	28,76	–
17	45,51	40,50	4,90	125,0	0,14	216,05	25,00	–
18	55,62	48,77	1,75	133,40	0,22	239,76	27,50	–
Після шістнадцятигодинного донасичення								
8a	87,17	30,70	41,70	220,00	-	379,57	43,00	75,72
11a	84,30	46,59	12,50	154,30	0,20	297,89	33,10	25,87
16a	74,60	48,77	18,50	196,50	0,10	338,47	38,24	93,22
17a	70,80	47,76	21,40	190,60	0,29	330,55	39,20	114,50
18a	67,66	41,15	18,80	181,30	0,14	309,05	34,00	69,29

можна бачити, що в розсілі переходять всі солі, причому відносний вміст NaCl, KCl і MgSO<sub>4</sub> є більшим в розсолі, ніж у відкосі, завдяки вибіркового вилугуванню, а K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в розсолі міститься в менших кількостях, ніж у лангбейт-каїнітовій руді відкоси. Вміст хлористого натрію в розсолах, відібраних після стікання на певній довжині, є більшим за вміст його на цій же довжині у відкосі масиву: на інтервалах 15,0-12,5 м – у 1,42; 15,0-10,0 м – у 1,29; 15,0-7,5 м – у 1,32; 15,0-5,0 м – у 1,25; 15,0-2,5 м – у 1,35; 15,0-0,0 м – у 1,45 рази при середній величині коефіцієнту 1,35. Середній вміст NaCl в розсолі, відбраному на відмітці 0,00 м, складає 57,24 на відміну 39,51% у масиві відкоси.

Вміст силівні у розсолі більший, ніж у відкосі на відповідних інтервалах – у 1,78; 1,63; 1,36; 2,38; 2,24; 1,98 рази при середній величині коефіцієнта, що дорівнює 1,89. Середня величина коефіцієнта по MgSO<sub>4</sub> дорівнює 1,09, а по K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0,95.

Вміст CaSO<sub>4</sub> в розсолах, а також в породі відкоси є невеликим і суттєво не впливає на суму солей в розсолах, які утворюються.

Опади, що випадають на сольові поверхні, перетворюються на розсоли, концентрація яких залежить від різновидностей сольових руд (каїнітова, лангбейтова, або складніші за мінералогічним складом – лангбейніт-каїнітова, або каїніт-лангбейнітова руди і соленосні глини (табл. 2).

Розсоли, що утворюються після окремих зрошень на лангбейніт-каїнітовому відкосі, за загальною кількістю солей не дуже відрізняються (261,91-284,46 г/дм<sup>3</sup>). Практично можна вважати, що концентрація солей в розсолах буде майже сталою. Коливання концентрації солей в розсолах пояснюється неоднорідністю лангбейніт-каїнітової породи у відкосі як за складом, так і за вмістом солей. У розсілі переходять всі солі, що містяться у породі.

Отримані дані про концентрації солей в розсолах дають підстави вважати, що на уступах, складених калійними рудами, будуть утворюватися розсоли з високою і майже сталою концентрацією солей.

Для визначення величини донасичення розсолів проведено дослідження. Розсоли, утворені після 8,11,16,17,18 циклів зрошень, залишали у зумпфі на 16 годин, а потім відбирали проби і визначали донасичення. Шар розсолів у зумпфі становив 25-35 см. Аналіз відібраних проб засвідчив, що розсоли переважно донасичувалися солями MgSO<sub>4</sub>, KCl, і NaCl (табл. 3).

Максимальне донасичення розсолів солями становить 114,50 г/дм<sup>3</sup>. Початковий розсіл містив 216,05 г/дм<sup>3</sup> солей, а після шістнадцятигодинного перебування сума солей його збільшувалася до 330,55 г/дм<sup>3</sup>. Донасичення відбувалося по всіх солях.

В зумпфі розсоли збільшили вміст  $MgSO_4$  у 1,346 разів;  $KCl$  – 2,837;  $NaCl$  – 1,303, а  $K_2SO_4$  зменшилось і склало 0,945. Середня концентрація солей збільшилась на 30%.

Таким чином, якщо утворені розсоли залишаються у сольових породах або стікають по них, то відбувається подальше інтенсивне донасичення їх солями.

Після перших циклів зрошень відкис розчинявся порівняно рівномірно. Але після четвертого циклу на ньому почали утворюватися рівці (в напрямку стікання), карри – у скупченнях легкорозчинних солей. При подальших опадах рівці збільшувалися, а карри змінювали свою форму.

Після десяти циклів зрошень на відкості з'являлися зосереджені струмені, що утворилися при стіканні розсолів; частково зносився нерозчинний залишок і дрібні уламки породи з верхньої частини відкосу, заповнюючи карри і поглиблення у середній та нижній його частинах.

Шар мулу важкорозчинних солей на відкості був неоднаковим. У нижній частині відкосу він був більшим, ніж у середній, а у верхній – його майже зовсім не було, а якщо й був, то його висота становила приблизно 3-5 мм.

Важкорозчинні солі вивільнялися від зв'язку з галітом, який цементує породу у вигляді збагаченої лангбейніт-каїнітової руди, частково залишалися на відкості, а частково скочувалися вниз. Галіт, розчиняючись, переходить у розсіл разом з іншими солями, збагачуючи породу і залишаючи важкорозчинні солі.

Уламки породи діаметром до 20-50 мм, що утворюються під час вилугування солей та руйнування відкосу, скочувалися вниз у вигляді осипів.

Зосереджені струмені формували рівчаки глибиною 65мм і шириною до 150 мм. У верхній частині відкосу глибина розчинення була меншою, ніж в інших місцях і становила 70-80 мм, в середній – 180-235 мм, в нижній – 210 мм. Спостерігалось збільшення висоти вимивання у середній частині відкосу виступу.

Таким чином, вимивання відкосу відбувалося нерівномірно через неоднорідність структури калійної породи, різницю швидкостей розчинення солей, які складають руду, утворення зосереджених струменів, розкладання сірчанокислих солей на складові солі. Найбільш розчинні солі переходили у розсіл, а вивільнені важкорозчинні, нерозчинні солі і мул частково скочувалися і зносилися потоками розсолу до нижньої борки виступу.

Під час вимивання солей відбувається також і механічне руйнування, розмивання зосередженими струменями і процесом розчинення.

Протягом 1-го року на відкості формувалися концентровані розсоли з різною концентрацією солей. Максимальна концентрація солей (303,85 г/л) в розсолах зафіксована після 8-го циклу дощів, коли для дощування застосовувалася вода температурою 20°C. З підвищенням

температури води, концентрація солей в розсолах підвищується.

В наших дослідах коливання концентрації солей в розсолах переважно зумовлене підвищенням температури води, складом і вмістом солей в руді.

Зміну концентрації і складу розсолів протягом першого року наведено в табл. 4. Встановлено тенденцію до незначного зниження концентрації солей в розсолах, особливо після 11-го циклу зрошень. В той же час вміст солей  $MgSO_4$  і  $K_2SO_4$  мало підвищується із збільшенням числа циклів дощів. Зменшення концентрації солей в розсолах першого року пояснюється незначним сповільненням розчинення відкосів, що викликане відкладенням мулу та важкорозчинних солей на їх поверхні. Звідси можна зробити висновок про те, що на сольових поверхнях утворюються висококонцентровані розсоли, а також про те, що відкладені важкорозчинні, нерозчинні солі та мул сповільнюють процес інтенсивного розчинення та розкладання солей калійних руд на поверхнях.

Для того, щоб оцінити розчинність солей калійного масиву на поверхнях, визначимо коефіцієнт швидкості розчинення для кожної солі, що входять до складу досліджуваної руди.

Коефіцієнтом швидкості розчинення солі калійної руди називається частка, отримана від ділення процентного вмісту солі в розсолі, утвореному після зрошення водою певної температури на поверхнях на процентний вміст солі в оголеній поверхні масиву ( $\varphi = \% \text{ солі} \cdot \frac{\text{розсіл}}{\text{масив}}$ ). Коефіцієнт швидкості розчинення  $\varphi$  визначався для солей  $MgSO_4$ ,  $K_2SO_4$ ,  $KCl$ ,  $NaCl$ .

Ймовірно, що процентний вміст солей в елементарному шарі поверхні масиву, при інших рівних умовах, буде величиною порівняно сталою, а процентний вміст солей в розсолі буде величиною змінною, яка залежить від температури дошової води, вмісту нерозчинного залишку, інтенсивності дощів та інших чинників.

У наших дослідах протягом першого року на відкості з лангбейніт-каїнітової породи (табл. 4) під час випадання дощів утворюються розсоли із вмістом солей:  $MgSO_4$  – 19,68;  $K_2SO_4$  – 14,38;  $KCl$  – 3,88;  $NaCl$  – 61,99;  $CaSO_4$  – 0,09%.

Середньорічні коефіцієнти швидкостей розчинення солей ( $\rho$ ) можна визначити із співвідношень:

$$\rho_{MgSO_4} = \frac{19,66\%}{22,82\%} = 0,861;$$

$$\rho_{K_2SO_4} = \frac{14,38\%}{19,23\%} = 0,691;$$

$$\rho_{KCl} = \frac{3,88\%}{2,01\%} = 1,930; \quad \rho_{NaCl} = \frac{61,99\%}{39,51\%} = 1,571.$$

Таблиця 4 — Мінералізація розсолів, утворених протягом року за рахунок вилугування відкосу

№ циклу дощів *	t <sup>0</sup> води	Питома вага розсолу, т/м <sup>3</sup>	MgSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	NaCl	CaSO <sub>4</sub>	Сума солей, г/дм <sup>3</sup>	K <sub>2</sub> O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	11	1.1925	32.03	17.42	19.10	211.80	0.63	280.98	12.00
2	11	1.1701	36.60	21.99	10.75	194.00	1.26	264.60	18.65
3	11	1.1718	37.80	26.78	10.60	174.30	–	249.48	21.20
4	15	1.1913	55.87	30.70	19.00	179.00	–	284.57	28.80
5	11	1.1813	48.83	33.75	12.20	169.60	–	264.43	25.90
6	11	1.1720	50.57	31.35	13.20	174.40	–	268.52	25.20
7	11	1.1906	59.96	37.23	13.30	157.00	0.38	267.87	28.40
8	20	1.2151	67.91	41.80	15.70	178.10	0.34	303.85	32.55
9	13	1.1817	60.44	38.00	–	179.00	0.31	277.89	20.00
10	11	1.1650	52.01	32.00	12.80	140.00	0.36	237.17	25.40
11	11	1.1892	62.13	46.29	14.70	149.80	–	271.92	33.81
12	13	1.1714	46.96	40.71	5.70	153.30	0.20	246.87	25.60
13	15	1.1774	52.98	45.29	7.60	142.70	–	248.57	29.30
14	14	1.1784	48.88	44.20	10.30	155.80	0.26	259.44	30.40
15	15	1.1683	48.16	44.41	6.50	135.00	0.29	234.36	28.10
16	14	1.1702	64.42	49.74	2.85	138.10	0.14	245.25	28.76
17	12	1.520	45.51	40.50	4.90	125.00	0.14	216.05	25.00
18	12	1.1716	55.62	48.77	1.75	133.40	0.22	239.76	27.50
Середній склад розсолів			50,93	37,21	10,05	160,57	0,25	259,02	25,92

\* – один цикл складається з п'яти дощів

Кількість решти солей не має суттєвого впливу на прогнозування їх вмісту в розсолах.

Якщо коефіцієнт швидкості розчинення >1, це вказує на легкорозчинні солі дощовими опадами. До легкорозчинних солей відносяться *KCl* і *NaCl*. Вміст *KCl* збільшується у розсолі майже удвічі; *NaCl* – більше, ніж у 1,5 рази.

Якщо коефіцієнт швидкості розчинення <1, то солі важко розчиняються дощовими опадами. До них належать солі *MgSO<sub>4</sub>* і *K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*, вміст яких у розсолі менший, ніж у відкосі, і відповідно дорівнює 0,861 і 0,691.

Знаючи коефіцієнти швидкостей розчинення солей, можна провести розрахунок процентного вмісту в розсолі і визначити їх склад. Потім можна визначити кількісний вміст солей в розсолі, використовуючи середньорічну суму солей (в розсолі) для різновидностей калійних руд. При розрахунку необхідно вводити поправочний коефіцієнт на нерозчинний залишок.

Для визначення швидкості розчинення лангбейніт-каїнітової (руди) поверхні скористаємося формулою (1)

$$W_{55} = \frac{G}{S \cdot t}, \quad (1)$$

де:  $W_{55}$  – швидкість розчинення поверхні відкосу під кутом 55°, кг/год;  $G$  – фактична кількість солей, які розчинилися в процесі дослідження, кг;  $S$  – площа вимивання поверхні відкосу м<sup>2</sup>;

розміри вилугування поверхні: довжина відкосу 15,2 м; ширина – 0,63 м; площа – 9,58м<sup>2</sup>;  $t$  – час дослідження, год.

Швидкості розчинення лангбейніт-каїнітової руди наведено в табл. 5.

На крутіших відкосах утворюються менш мінералізовані розсоли. Порівняння даних, отриманих під час дощування відкосів з різними кутами нахилу при однаковій геологічній будові, однаковій інтенсивності та кількості опадів, що випадали, дає можливість стверджувати, що кількість опадів ( $Q$ , м/год), які потрапляють на відкос, залежить від кута нахилу:

$$Q = a \delta \cos \alpha, \quad (2)$$

де:  $a$  – інтенсивність дощу, м/год;  $\delta$  – горизонтальна проекція зрошувальної площі, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – кут нахилу відкосу, град.

Під час вирівнювання відкосу кількість опадів, які на нього потрапляють, збільшується і навпаки. За інших умов із збільшенням кута відкосу час контакту з водою зменшується, а це, в свою чергу, впливає на швидкість стікання води (швидкість розмивання) також збільшується. Під час вирівнювання відкосу шлях стікання розсолів стає довшим. Товщина шару руйнування відкосів залежно від кількості опадів та кута нахилу наведена у табл. 6.

Встановлені закономірності утворюваних під час дощування профілів відкосу не залежать від кількості опадів, геологічної будови та

Таблиця 5 — Швидкості розчинення соляних порід відкосу

Номер досліджу	Температура води, °С	Кількість розсолу т/м <sup>3</sup>	Питома вага розсолу т/м <sup>3</sup>	Концентрація солей в розсолах, г/л	Кількість солей, що розчинилися під час досліджу G, кг	Швидкість розчинення W, кг/м <sup>2</sup> год
8	20	549,7	1,215	379,57	208,60	8,71
11	11	515,2	1,189	297,89	153,50	6,39
16	14	551,7	1,170	338,47	186,70	7,80
17	12	558,4	1,152	330,55	184,60	7,71
18	12	531,9	1,172	309,05	164,40	6,86

Таблиця 6 — Товщина шару руйнування відкосів (мм) залежно від кута нахилу відкосів

Кут відкосів	Номери реперів	Кількість опадів, мм					
		123,6	247,2	370,8	494,4	618,6	700,4
45°	11,12	50,8 х/	68,5	100,8	125,0	149,5	161
75°	9,10	10,8	18,0	27,3	41,1	48,5	85,0

інших чинників. Ці чинники впливають на величини руйнування шарів, що вимиваються і руйнуються протягом певного періоду руйнування. Відбувається певна зміна початкової геометричної форми профільної кривої відкосу. Спостереження засвідчили, що прямолінійний профіль відкосу протягом певного часу від впливу води перетворюється у криволінійний з максимальною величиною руйнування приблизно у середній частині. Форма і характер кривої за різних умов оголення порід є подібними і відрізняються тільки величиною руйнування. При цьому продовжується наростання останньої всередині відкосу. У цій частині відкосу встановлюються не тільки максимальна величина розчинення і вимивання солей, але й максимальне руйнування, що призводить до вивалювання породи.

Це явище спостерігалось під час проведення дослідних робіт на відкосі, що складається з лангбейніт-каїнітової породи. Але величина руйнування відкосу була меншою внаслідок монолітності породи, яка ще й містила незначну кількість нерозчинного матеріалу, глинисті частки якого сприяють руйнуванню. Найменше розчинення відбувається в нижній частині, завдяки потраплянню мінералізованих вод та відкладених в результаті знесення потоком важкорозчинних солей та нерозчинного залишку.

При висоті виступу 12-13 м і куті нахилу відкосу 55° ділянка з максимальними величинами руйнування розміщена на рівні 6-8м; при висоті виступу 7-10 м і куті відкосу 45-75° максимум руйнування знаходиться на рівні між 4-6 м. У верхній частині утворюється нестійкий «дашок», який може впасти, в результаті чого, кут нахилу окремого відкосу має тенденцію до вирівнювання на 3-15°. Нижня межа відноситься до стійких порід з монолітною текстурою (кам'яна сіль, каїніт-лангбейнітова і лангбейнітова породи з мінімальним вмістом нерозчинного залишку (10-12%), верхній – характерний для шаруватих порід, до складу яких входять глинисті мінерали, що поглинають вологу. На величину вирівнювання профілю впливають:

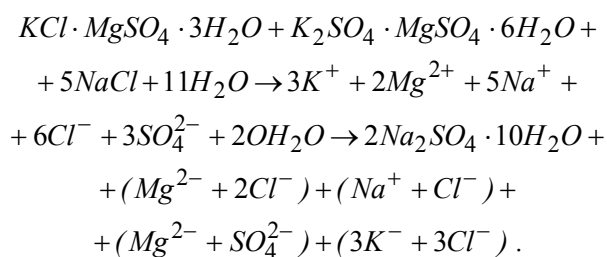
місце розміщення відкосу по відношенню до напластування. У разі співпадання напластування з кутом нахилу відкосу, величина вирівнювання становитиме 5-9°.

Зона інтенсивного розчинення, вимивання та розмивання характеризується рівномірною, а інколи при зосереджених струменях – і нерівномірною зміною поверхні відкосу, з рівними розчинними ділянками та нерівним рельєфом.

Зона вибіркового розчинення, вимивання і руйнування характеризується губчастим, складноперерізанним мікрорельєфом з глибиною каньйонів і каррів до 0,10-0,35 м, величина яких не є сталою і змінюється в часі. За такого складного мікрорельєфу різко збільшується загальна площа, що знаходиться в процесі розчинення, а губчастий та порізаний мікрорельєф зумовлює більший час контакту води з соленосним масивом і знижує швидкості стікання розсолів. Товщина зони вибіркового розчинення залежить в основному від геолого-петрографічного чинника (кількість нерозчинного залишку, вмісту розчинних і нерозчинних мінералів, структури і текстури), а також розміщення відкосу відносно шаруватості порід. Для таких соленосних порід, як кам'яна сіль, соленосна глина, глиниста кам'яна сіль, соленосні піщаники, зона вибіркового розчинення характеризується мінімальною товщиною. Сірчанокислі шари, брекчовані соленосні глини і соленосні брекчії із вмістом сірчанокислих солей утворюють під час випадання дощів максимальну товщину зони вибіркового розчинення.

Дощові води вимивають, в першу чергу, легкорозчинні солі NaCl (галіт), KCl (сильвін) і шеніт MgSO<sub>4</sub> · K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 6H<sub>2</sub>O.

У зв'язку з низькими температурами під час проведення дослідів у процесі формування та стікання розсолу з відкосу, спостерігалось утворення вторинних змішаних солей, які складаються з мірабіліту. Хімізм процесу вимивання, розчинення і руйнування західного борту, що характеризується значним перешаруванням шеніт-каїніт-галітових порід, полягає в такому:



Основними чинниками, що визначають характер вилуговування солей та руйнування відкосу, є:

- кут нахилу відкосу;
- мінералого-петрографічний склад порід;
- умови розміщення відкосу у відношенні до напластування розчинних порід;
- тріщинуватість, що виникла під час проведення вибухових робіт;
- характер стікання вод по поверхнях відкосу.

Природно, важливим чинником також є температура води розчинника, але цей чинник проявляється слабо, оскільки температура води дощів є низькою (20-23<sup>0</sup>) і коливання її є незначним. За вказаних умов не спостерігається різка зміна швидкостей розчинення різних солей, але теоретично розчинність порід дещо збільшується із підвищенням температури.

У процесі руйнування враховується також розчинення та вимивання солей, розмивання при стіканні, знесенні нерозчинних мінералів потоками, а також можливий вплив агентів вивітрювання, особливо слабкомінералізованої води, яка може замерзати за низьких температур і мати розклинюючу дію. Ці всі процеси відбуваються у поверхневому шарі. В інтенсивно розчинних породах з конгруентним розчиненням солей величина поверхневого шару є мінімальною і за рівномірного стікання вод розчинна поверхня має повністю горизонтальний рельєф. При утворенні зосереджених струменів утворюються лотковидні каверни; поверхня в даному випадку покрита нерівностями. Це явище спостерігається під час проведення дослідних робіт, особливо в шахтних умовах і на виходах кам'яної солі у Закарпатті (Солотвинський рудник) і в Середній Азії (Кулябські куполи).

### **Висновки**

У процесі складання проектів на будівництво кар'єрів необхідно враховувати специфічні особливості їх експлуатації у складних кліматичних і гірничо-геологічних умовах, викликаних легкою розчинністю бокових порід і калійних руд. Особливості таких кар'єрів полягають у формуванні за рахунок випадання осадів висококонцентрованих розсолів, що містять корисні компоненти солей. Об'єм розсолів буде залежати від площі кар'єру. Треба передбачити їх викидання через свердловини у підземні товщі або використовувати в технологічному процесі переробки калійних руд. Закачування таких розсолів зумовить втрати корисних копалин. Наведена методика формування складу і кон-

центрації розсолів може бути використана при прогнозуванні утворення розсолів у зв'язку із зміною мінералогічного складу порід і руд на нижніх виступах. Дослідні роботи свідчать, що в перші роки мули та важкорозчинні солі, які відкладаються на поверхнях (особливо похилих) практично не сповільнюють процесу вимивання солей в кар'єрі, де виступи складені лангбейнітовою, каїнітовою рудами або монолітною соленосною глиною, що містять 70-90% галіту. На поверхнях уступів, розміщених в бічних розчинних породах, в результаті вимивання солей залишається шар нерозчинних порід, що сповільнює процес розчинення. Це явище зумовлює зниження концентрації солей в розсолах.

У зв'язку з оголенням великих площ розчинних порід можуть утворюватися значні об'єми розсолів. Неорганізоване їх стікання може призвести до некерованого вимивання солей та руйнування виступів, що стікають з берм і відкосів на нижні горизонти. Для попередження такого явища треба організувати керування уловлювання розсолів на бермах уступів біля нижньої бровки відкосу з використанням ровів. При цьому берма повинна мати нахил у бік нижньої бровки уступу.

Характерною особливістю експлуатації таких кар'єрів є руйнування уступів внаслідок розрихлення порід під дією води. Профіль відкосу змінюється порівняно з його початковим станом. Відкоси масивних калійних порід і кам'яної солі вирівнюється внаслідок руйнування на 5-6<sup>0</sup>. Крім того, процеси вимивання солей й руйнування уступів зумовлюють зменшення проектної величини берм (для різних типів соленосних порід їх розмір – різний). Величина зменшення ширини берм на уступах (навіть при рівномірному розмиванні) складе приблизно 150-300 мм за рік; із збільшенням кута нахилу уступу вона зменшується. Мінімальна величина розмивання спостерігається біля уступів, що складаються з лангбейнітової, лангбейніт-каїнітової породи з неоднорідною плямистою текстурою та вмістом теригенного матеріалу 5-10%, кам'яної солі; максимальна – спостерігається біля уступів, складених шеніт-каїнітовими, каїнітовими породами, брекчевидними соленосними глинами, брекчіями, зцементованими солями та пеліт-псамітовим матеріалом.

### **Література**

- 1 Коринь С.С., Семчук Л.М., Мосора Т.М. Прогнозирование рассолопроявлений в калийных рудниках Прикарпатья // Советская геология. – 1986. – № 9. – С. 12-15.
- 2 Методика изучения и прогноза экзогенных геологических процессов: Сб. науч. ст. – М.: Недра, 1988. – 215 с.
- 3 Коринь С.С., Мосора Т.М. Калійна сіль та екологічна безпека // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2000. – № 37. – С. 98-100.