

## ГЕОЛОГІЧНІ НАУКИ

УДК 624.131/624.131.6/502.53  
DOI: 10.15587/2313-8416.2016.75031

## ВПЛИВ ПОЛІМІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ СОЛЕЙ НА РОЗЧИННІ ТА ГІДРОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СОЛЯНИХ ВІДКЛАДІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

© В. І. Павлюк

*На прикладі поетапного вилугування соляних мінералів різного хімічного складу і з неоднаковим ступенем розчинності обґрунтовано збільшення проникності соляних відкладень в межах «соляного дзеркала» за рахунок неоднорідного вилугування мінералів. Розчинення полімінеральних солей, коли в першу чергу вилугується каїніт та інші легкорозчинні солі, формує на першому етапі карстування нестійке пористе середовище*

**Ключові слова:** полімінеральні солі, карст; пористість, «соляне дзеркало», фільтрація, гіпсо-глиниста шапка

*On example of step-by-step gradual dissolution of the salts minerals with different chemical composition and with varying degrees of solubility on a reasonable basis is shown the increase of the permeability of salt deposits due to inhomogeneous leaching of minerals. Gradual leaching of polymineral salts, when the first was leached kainite and other readily water-soluble salts forms the unstable porous medium in the first phase of karsting*

**Keywords:** polymineral salt, karst, pore content, "salt mirror", filtration, gypsum-clay cap

### 1. Вступ

Солі в земній корі пов'язані головним чином з її осадовою частиною і зустрічаються або в вигляді мінералів кристалічної структури, або водних розчинів на всіх без винятку континентах Землі і під водою (Мексиканська і Перська затока, Каспійське море...). Більшість галогенних гірських порід складені галітом і деякими іншими солями. У них практично завжди, в різних кількостях, присутній карбонатно-глинистий матеріал і ангідрит або гіпс. За переважним вмістом мінералу їх прийнято називати галітова порода (NaCl), сильвінітова порода (KCl), карналітова порода ( $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), лангбейнітова порода ( $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ ), каїніт-лангбейнітова порода, полігаліт-галітова порода та інші. Однією з основних властивостей соляних відкладів є їх висока розчинність, що при сприятливих умовах формує на територіях їх поширення розвиток карстових явищ.

В цілому, сольовий карст досить складне природне явище, що відбувається в масивах розчинних відкладів, де розчинення порід іде паралельно з іншими процесами гіпергенезу, в результаті яких формується специфічна кора вивітрювання. Складність даного питання вимагає окремого підходу та методики у вивченні закономірностей його проходження. В умовах Передкарпаття впровадження окремої методики дослідження соляного карсту є необхідним в

зв'язку з специфічними особливостями його генезису та розвитку. У першу чергу це залежить від особливостей геологічної будови, специфіки проходження фізико-механічних та фізико-хімічних процесів, які мають місце на територіях розвитку солевих відкладів. Як приклад складності, можна навести наявність таких характерних структурних елементів геологічної будови, як гіпсо-глиниста шапка (ГГШ), «сольове дзеркало» з присутністю горизонту насичених розсолів на його поверхні, практична відсутність в умовах Передкарпаття в непорушеному природному стані поширених водоносних горизонтів в товщі солевмісних порід, своєрідні гідрогеологічні умови.

### 2. Аналіз літературних даних

Найважливішими фізичними властивостями солей і соляних порід є їх загальна висока розчинність, пластичність і гігроскопічність. Гранична концентрація кухонної солі у воді при температурі 10 °C становить 357,2 г/дм<sup>3</sup>, гіпсу – 2,05 г/дм<sup>3</sup>, вапняку – 0,013 г/дм<sup>3</sup>. Якщо прийняти розчинність карбонатів за 1 то співвідношення середніх поданих вище показників в нормальних природних умовах складе близько 10000:160:1 [1]. Вважається, що переважна більшість солей в природі є продуктами галогенезу – евапоритовими утвореннями, що сформувалися при випаровуванні природних вод. Залежно від складу

материнських розчинів, характеру фізико-хімічних процесів солеутворення, умов седиментації та інших факторів одночасно або послідовно виникають найрізноманітніші асоціації випадуючих в осад соляних мінералів. Коли концентрація солей в ропі солеродного басейну досягає величини, приблизно в два рази більшої океанічної (умовно 70 г/л), з неї починає випадати доломіт. При збільшенні концентрації від 2–4 до 12 разів проходить випадання в осад гіпсу. Кристалізація NaCl починається після випаровування 93 % морської води. За спрощеною схемою, при подальшій концентрації проходить садка сильвіну, далі епсоміту ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), потім карналіту ( $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), або каїніту ( $KClMgSO_4 \cdot 3H_2O$ ). Останнім випадает бішофіт ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ). Об'єктивно це більш складний процес, який залежить від наявності та співвідношення концентрацій комплексу присутніх в розчині солей, стану рідини (температура, тиск). В ідеальному випадку виділення солей з морської води проходить в такому порядку [2]:

- 1) гіпс, ангідрит;
- 2) галіт в асоціації з гіпсом, ангідритом і полігалітом;
- 3) кізерит з галітом, каїнітом, полігалітом і ін.;
- 4) карналіт з галітом, кізеритом і ін.;
- 5) бішофіт з карналітом, галітом і ін. легкорозчинними солями.

При вилуговуванні соляних покладів полімінерального складу, які зазнали після їх седиментації впливу складних процесів діагенезу і катагенезу, хімічного перетворення і дегідратації мінералів, перехід солей в розчин проходить в порядку близькому до зворотного при їх випаданні з морської води. Це також, як седиментація, досить складний процес, який має свої специфічні особливості і залежить від загальної концентрації і співвідношення солей в розсолах, а також тиску і температури середовища [3].

### 3. Мета дослідження

Метою дослідження є обґрунтування причини найвищих показників фільтрації базисної частини гіпсо-глинистої шапки над пластами калійних солей полімінерального складу в межах Передкарпатської провінції соляних відкладів.

### 4. Методика досліджень

Дана стаття являється частиною більш складної і об'ємної роботи: «Формування умов та факторів, що обумовлюють просторовий розвиток карстових процесів на прикладі Стебницького родовища калійних солей Передкарпатської провінції соляних відкладів». Основою методики її виконання являється систематизація емпіричних даних отриманих під час польових досліджень, сукупне аналітичне опрацювання зібраних матеріалів по темі питання та остаточне багатопланове комп'ютерне моделювання геологічного середовища. Робота ґрунтується на чисельних зразках фактичної активізації розвитку соляного карсту, як на прикладі Стебницького та Калуського родовищ калійних солей, так і інших ділянках його проявів у межах Передкарпатської провінції соляних відкладів.

### 5. Обґрунтування найвищих показників фільтрації відкладів у межах «соляного дзеркала» над пластами полімінеральних калійних солей Передкарпаття

В Україні існують три області поширення значних за обсягом покладів солей: Дніпровсько-Донецька западина, Закарпатський внутрішній прогин і Передкарпатський крайовий прогин. Соляні родовища Прикарпаття досить унікальні, як за складністю геологічної будови, так і за різноманітністю присутніх соляних мінералів, кількості нерозчинного залишку, типів структур, текстур і виділених різновидів порід. Завдяки цьому для них характерні свої особливості протікання геологічних процесів екзогенного характеру, зокрема карсту.

При техногенному втручанні і різких змінах в умовах залягання соляних відкладів відбувається інтенсивний контакт динамічних прісних вод різного походження з соляними утвореннями, що призводить до активізації цілого ряду негативних екзогенних процесів і карсту зокрема. На земній поверхні утворення значних карстових порожнин відображається в формі просядок і провалів. З досвіду спостережень за провальними карстовими формами на територіях поширення солей Прикарпаття відзначено, що вони формуються переважно на відстані до 100 м. від місця прориву поверхневих вод до горизонту насичених розсолів на поверхні «соляного дзеркала». Пояснюється це швидким насиченням підземних вод розчиненими по шляху їх дренажу солями і втратою ними агресивності. За даними досліджень [4] розвиток провалів у часі, в переважних випадках, розвивається лінійно уздовж геологічних границь. Структурно-тектонічні особливості геологічної будови ділянки є визначальними в просторово-часовому поширенні природних і техногенно обумовлених карстових процесів, які проходять закономірно в площині «соляного дзеркала». Гідрогеологічні спостереження, проведені в різні роки на Стебницькому родовищі калійних солей, свідчать, що найбільш водопроникними є гіпергенні змінені корінні відкладення воротитщенської свити в межах «соляного дзеркала». Серед різних типів гіпергенно змінених порід найбільш високими фільтраційними властивостями характеризуються породи, представлені тонкодисперсними глинами, цементованими полімінеральним складом калійних солей [5–7]. Зверху вони перекриті корою вивітрювання – гіпсо-глинистої шапки (ГТШ) з підвищеним вмістом гіпс-ангідритного компоненту (від 20 до 60 %) і засолоненням (від 1,3 до 43 %).

Це можна пояснити наступним чином. Під час проходження процесів підземного вилуговування солей в зоні «соляного дзеркала» в породах, які ще зберігають загальну власну структуру, формуються кавернозні порожнини за рахунок неоднорідного розчинення мінералів. Згідно фізико-хімічних властивостей, першими гідратуються і розчиняються полімінеральні солі, які останні викристалізувалися з материнських розчинів, а більш стійкі, у вигляді цементуючого елементу поки що скріплюють глинисті включення і утримують скелет і структуру породи. Така кавернозність, при відносно нерухомому скелеті

ґрунтів призводить до певного зростання їх пористості, що створює умови для зростання водопроникності відкладень. У мономінеральних галітових відкладах гідратація і розчинення солі проходить більш однорідно по всьому об'єму зміненої породи за рахунок більш гомогенної середовища. Однотипні протікання фізико-хімічних процесів гомогенної середовища формують в її обсязі відповідні однорідні фізико-механічні властивості, що відповідно збільшує її загальну однорідну консистенцію і пластичність по всьому об'єму зміненої породи і призводить до одночасної з вилуговуванням, порівняно більш високій усадці відкладень, зменшенням утвореної пористості і фільтраційних показників ґрунтів. У цьому випадку такі породи більше схожі за фізико-механічними властивостями до глин, ніж до солей. Властивості дисперсного середовища глин в основному ґрунтуються на механічних (структурних) зв'язках між частинками, в солях же основу складають кристалізаційні (хімічні) зв'язки, що впливає на фізичні властивості самої речовини. Хоча на першій стадії карсту кавернозність і фільтраційні властивості глинисто-галітових відкладень також закономірно трохи збільшуються [8], все ж за своїми показниками вони поступаються відповідним показникам над калійними пластами полімінерального складу. Максимальні фільтраційні показники ґрунтів, розташованих над переважно круто падаючими, лінійно витягнутими в плані калійними пластами Прикарпаття, пояснюються різним ступенем розчинності складного комплексу солей, коли в першу чергу розчиняються зерна кайніту і інші більш розчинні соляні мінерали, а в останню такі як кизерит, лангбейніт і полігаліт [9]. Саме ці властивості солей пояснюють присутність найбільш водопроникних типів порід саме над заляганням полімінеральних калій-магнієвих со-

лей. Поетапно вилуговування солей, коли в першу чергу вилуговується кайніт, який може становити до 20 % вмісту водорозчинних солей формує на першому етапі карстування нестійке пористе середовище, каркас якого складено з нерозчинного залишку, скріпленого галіт-полігаліт-лангбейніт-ангідритовим цементом. Наочно процес вибіркового поетапного вилуговування відкладень з полімінеральним складом солей можна було спостерігати під час експлуатації Домбровського кар'єру (м. Калуш, Івано-Франківська обл.) в період 1999–2007 років. Розробка запасів здійснювалася на північній ділянці, а на південній, відпрацьованій раніше, накопичувалися розсоли, між якими була залишена перемичка з незайманого гірничими роботами масиву соленосних відкладень. Динамічні потоки розсолів з південної ділянки, з мінералізацією в межах 180–240 г/л, проникаючи уздовж геологічних структур, потрапляли на північну ділянку, поступово розчиняючи солі, виносячи тонкодисперсний матеріал нерозчинного осаду і збільшуючи фільтраційні властивості порід перемички. В кінці періоду експлуатації у північній частині Домбровського кар'єру перемичка між ділянками представляла собою кавернозну, ніздрювату зону складену майже чистим, відмитим до рожевого кольору, лангбейнітом. Періодично цю ділянку зміцнювали шляхом завезення порід гіпсово-глинистої шапки, проте досить швидко глинистий матеріал виносився потоком фільтруючихся соляних розчинів. У 2008 році, під час інтенсивних дощів і проходження паводка, відбулося затоплення кар'єру і вирівнювання рівнів розсолів на південному і північному ділянках Домбровського кар'єру. Після чого його експлуатація була повністю припинена, а процес карстування масиву в межах кар'єрного поля продовжився (рис. 1).

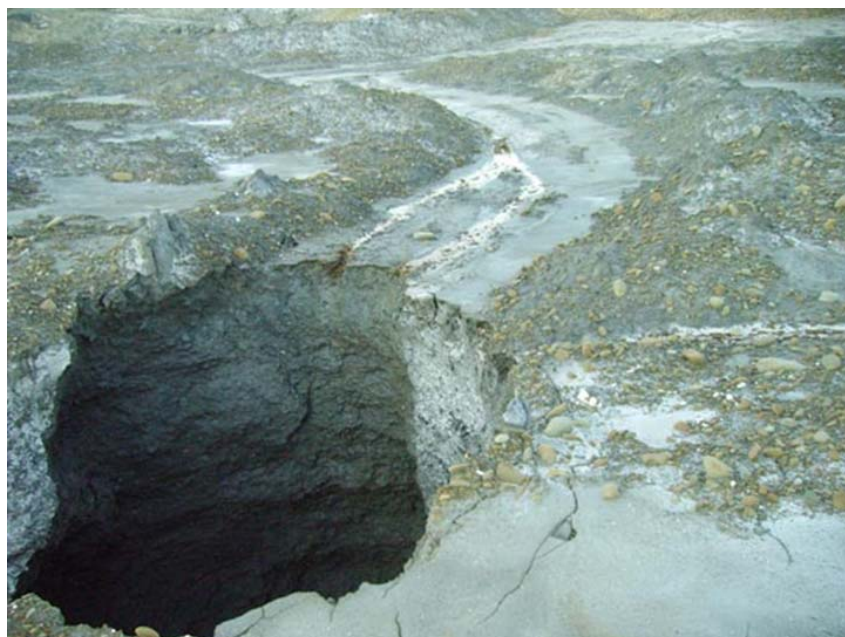


Рис. 1. Початок розвитку карстового каньйону по полотну дороги в кар'єрі Домбровський

Відкладення в базисній частині ГГШ над калійними пластами, лінійні в плані, своєрідні водопроникні кавернозні зони, є більш сприятливим мор-

фологічним геологічним елементом для дренажу існуючих в площині «соляного дзеркала» розсолів, ніж в оточуючих породах. При різкій зміні гідрогео-

логічних режимів і надходжень в такі канали агресивних поверхневих вод, процеси природного або техногенно обумовленого карсту можуть прискорюватися на багато порядків, формуючи в товщі відкладень або на земній поверхні небезпечні екзогенні геологічні прояви, які на поверхні проявляються лінійно, вздовж геологічних кордонів калійних пластів у вигляді провалів та провалів.

При поступовому, не активізованому проходженні природного вилуговування проходить подальше поглиблення поверхні «соляного дзеркала» з утворенням нових ділянок з підвищеною пористістю. У попередньому, вищерозміщеному порушеному середовищі з полімінеральним складом солей відбувається подальше розчинення більш стійких до диссолюції мінералів, що скріплюють тонкодисперсні частинки нерозчиненого залишку, з поступовим просіданням і ущільненням ґрунтів з вилуженими солями. В кінцевому варіанті утворюються класичні вищезалігаючі відкладення ГГШ, складені в основному загіпсованим і різного ступеня засолоненими, практично водонепроникними тугопластичними, щільними глинистими ґрунтами нерозчиненого залишку.

Таким же чином і водопроникність ГГШ, яка є відображенням будови корінних солевмісних порід, не характеризується стабільними показниками, а змінюється в плані і розрізі. І в першому і в другому прикладі більш водопроникні зони пов'язані з ділянками інтенсивно зім'ятих нижньонеогенових солевмісних утворень і в плані, в умовах Передкарпаття, переважно мають північно-західне простягання. Такі неоднорідності створюють дещо більш «водопроникні канали» в товщі «соляного дзеркала» і ГГШ. Порооди ГГШ і солевмісні породи, які вміщують дані «канали» є практично водонепроникними з фільтраційними властивостями в десятки і сотні разів меншими [10]. Внаслідок більшої водопровідності ґрунтів над калійними пластами, розвиток карстових процесів при техногенному впливі уздовж шаруватості проходить більш інтенсивно. Прикладом може служити різка активізація негативних екзогенних процесів на північно-західному фланзі 2-го рудника Стебницького родовища калійних солей у Львівській обл. (рис. 2).

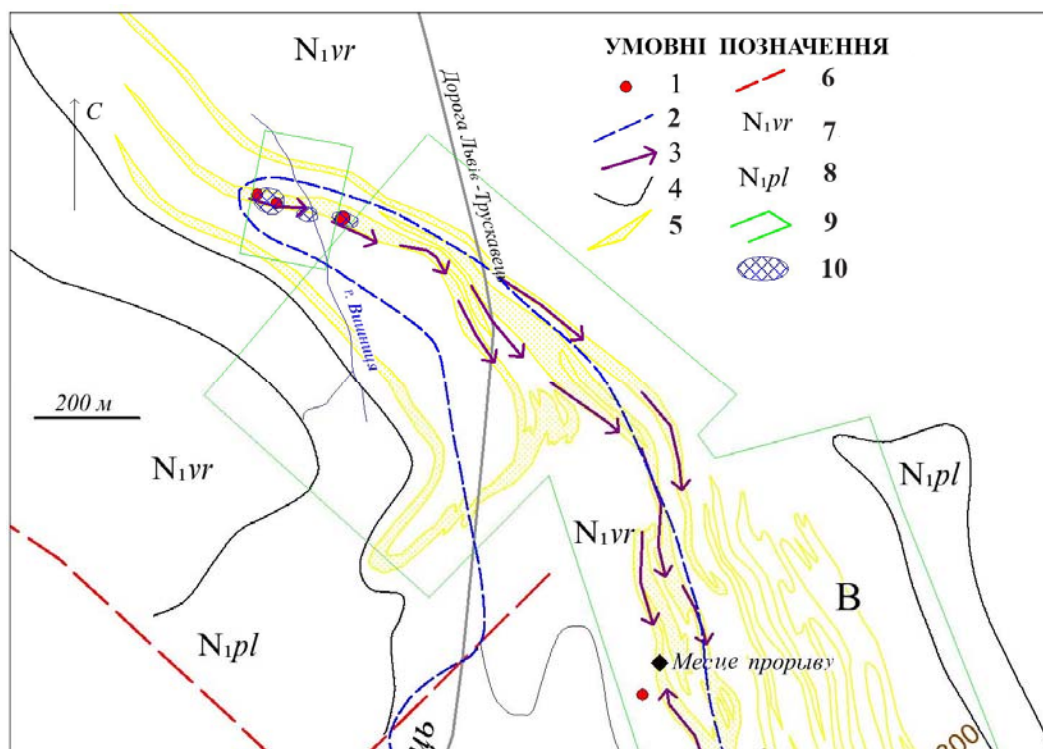


Рис. 2. Ситуаційний план розвитку екзогенних геологічних процесів у залежності від геологічної будови на ділянці прориву підземних вод у виробки рудника 2 Стебницького родовища калійних солей: 1 – карстові провали; 2 – границя депресійної лійки водоносного горизонту ГГШ; 3 – напрям дренажу підземних вод; 4 – геологічні границі; 5 – калійні пласти; 6 – розривні порушення; 7 – відклади воротищенської світи; 8 – відклади поляницької світи; 9 – границі шахтних виробок; 10 – просадки земної поверхні

Ділянка водозбору в межах депресії водоносного горизонту відкладень ГГШ, який простягається вздовж геологічних границь калійних пластів, має протяжність в кілька сотень метрів (долина р. Вишняця, західна околиця м. Стебник), що перевищує подібні параметри на інших ділянках. На всьому протязі відбувалося формування комплексу негативних

екзогенних проявів з утворенням небезпечних провальних поверхневих форм.

## 6. Висновки

Процеси, як природного, так і техногенно обумовленого підземного вилуговування солей (карсту) в Передкарпатті просторово визначаються

структурною будовою комплексу геологічних відкладень.

Найвищі показники фільтрації ґрунтів, розташованих над корінними пластами з полімінеральним соляним складом, обумовлені різною величиною розчинності мінералів солей, коли в першу чергу розчиняються мінерали менш стійкі до диссолюції, що формує на першій стадії карстування порід більш пористе середовище, ніж над відкладеннями номінерального складу солей.

#### Література

1. Ананьев, В. П. Инженерная геология [Текст] / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – М.: Вища школа, 2002. – 511 с.
2. Бетехтин, А. Г. Курс минералогии [Текст] / А. Г. Бетехтин. – М.: Государственное издательство геологической литературы, 1951. – 543 с.
3. Равич, М. И. Водно-солевые системы при повышенных температурах и давлениях [Текст] / М. И. Равич. – М.: Наука, 1974. – 151 с.
4. Павлюк, В. І. Активізація екзогенних процесів на Стебницькому родовищі калійних солей, прогноз розвитку та заходи по зменшенню їхнього негативного впливу [Текст] / В. І. Павлюк // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2011. – № 5. – С. 111–115.
5. Іванікова, Н. П. Динаміка коефіцієнта фільтрації засоленних ґрунтів в процесі вищелачивання [Текст] / Н. П. Іванікова // Матеріали по гідрогеології і геологічеської ролі підземних вод. – 1971. – С. 161–165.
6. Іванікова, Н. П. Фізико-механічеськіє свойства пород гіпсо-глинистої шляпи Стебницького месторождения в связи с их засоленностью и структурно-текстурными особенностями [Текст] / Н. П. Іванікова // Матеріали по гідрогеології і геологічеської ролі підземних вод. – 1971. – С. 107–124.
7. Варламов, А. А. Гидрогеологические условия Стебницького месторождения калийных солей [Текст] / А. А. Варламов, С. С. Козлов, В. К. Липницкий и др. – Л.: Фонди СтКЗ, 1969. – 70 с.
8. Павлюк, В. І. Особливості фізико-хімічних процесів розчинення (карсту) соляних відкладів у камері підземного вилуговування [Текст] / В. І. Павлюк // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2016. – № 1-2 (168-169). – С. 97–101.
9. Егоров, А. П. Общая химическая технология неорганических веществ [Текст] / А. П. Егоров, А. И. Шерешевский, И. В. Шманенков. – М.: Химия, 1964. – 670 с.
10. Павлюк, В. І. Вплив геологічних факторів на екзогенні процеси міоценових соленосних відкладів Українського Передкарпаття [Текст] / В. І. Павлюк // Гео-

логія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 2 (151). – С. 89–104.

#### References

1. Ananyev, V. P., Potapov, A. D. (2002). Inzhenernaya geologiya [Engineering geology]. Moscow: Vishcha shkola, 511.
2. Betekhtin, A. G. (1951). Kurs mineralogii [Mineralogy course]. Moscow: Gosudarstvennoye izdatelstvo geologicheskoy literatury, 543.
3. Ravich, M. I. (1974). Vodno-solevyie sistemy pri povyshennykh temperaturakh i davleniyakh [Water and salt systems at increased temperatures and pressures]. Moscow: Nauka, 151.
4. Pavliuk, V. I. (2011). Aktyvizatsiya ekzohennykh protsesiv na Stebnyts'komu rodovyshchi kaliynykh soley, prohnaz rozvytku ta zakhody po zmeshennyu yikh'oho nehatyvnogo vplyvu [Activization of exogenic processes on the Stebnitsky deposit of potash salts, scenarios of probable development and action for decrease in their negative influence]. Visnyk L'vivs'koho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyt'tyedyal'nosti, 5. 111–115.
5. Ivanikova, N. P. (1971). Dinamika koeffitsiyenta filtratsii zasolennykh gruntov v protsesse vyshchelachivaniya [The dynamics of the hydraulic conductivity of saline soils in the process of leaching]. Materialy po gidrogeologii i geologicheskoy roli podzemnykh vod, 161–165.
6. Ivanikova, N. P. (1971). Fiziko-mekhanicheskiye svoystva porod gipso-glinistoy shlyapy Stebnitskogo mestorozhdeniya v svyazi s ikh zasolenostyu i strukturno-teksturnymi osobennostyami [Physical and mechanical properties of rocks of caprock of Stebnik deposit due to their salinity and structural and textural features]. Materialy po gidrogeologii i geologicheskoy roli podzemnykh vod, 107–124.
7. Varlamov, A. A., Kozlov, S. S., Lipnitskiy, V. K. et al. (1969). Gidrogeologicheskkiye usloviya Stebnitskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Hydro-geological conditions of Stebnik potash deposit]. Leningrad: Fondi StKZ, 70.
8. Pavliuk, V. I. (2016). Osoblyvosti fizyko-khimichnykh protsesiv rozchynennya (karstu) solyanykh vidkladiv u kameri pidzemnogo vyluhovuvannya [Features of physico-chemical processes of dissolution of hydrochloric adjournment in the chamber underground desalination]. Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn, 1-2 (168-169), 97–101.
9. Egorov, A. P., Shereshevskiy, A. I., Shmanenkov, I. V. (1964). Obshchaya khimicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv [General chemical technology of inorganic substances]. Moscow: Izdatelstvo Khimiya, 670.
10. Pavliuk, V. I. (2010). Vplyv heolohichnykh faktoriv na ekzohenni protsesy miotsenovykh solenosnykh vidkladiv Ukrainys'koho Peredkarpattya [Influence of geological factors upon the exogenous processes of the Miocene salt-bearing sedimentation of Ukrainian Precarpathia]. Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn, 2 (151), 89–104.

*Рекомендовано до публікації д-р геол. наук, професор Павлунь М. М.  
Дата надходження рукопису 08.07.2016*

**Павлюк Василь Іванович**, старший науковий співробітник, ДП НДІ «Галургія», вул. Фабрична, м. Калуш, Україна, 77300  
E-mail: notebooc@gmail.com