

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА**  
**ШЕВЧЕНКА**  
**ННІ «ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЇ»**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**МАЛЬКОВА Яна Олександрівна**

УДК 556, 550.461

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ГІДРОГЕОХІМІЯ РОЗСОЛІВ КАЛУШ-ГОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА**  
**КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ У ЗОНІ ДРЕНАЖНОГО ВПЛИВУ ДОМБРОВСЬКОГО**  
**КАР'ЄРУ**

Спеціальність 04.00.06 – Гідрогеологія

Подається на здобуття наукового ступеня *кандидата геологічних наук*

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Я. О. Малькова

Науковий керівник - **Долін Віктор Володимирович**, доктор геологічних наук,  
професор

Київ – 2025

## АНОТАЦІЯ

**Малькова Я.О. Гідрогеохімія розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей у зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.06 – гідрогеологія. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, МОН України, Київ, 2025.

Захист дисертаційного дослідження відбудеться у спеціалізованій вченій раді Д26.001.32 ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, 2025.

Домбровський кар'єр, який експлуатувався з 1967 р., єдиний у світі, де відкритим способом видобувалася калійна руда. За період експлуатації Калуш-Голинського родовища калійних солей на його базі сформувалися гірничопромислові геокомплекси, що включають ряд об'єктів гірничо-видобувного і переробного профілю, які уже тривалий час створюють техногенне навантаження і потенційно здійснюватимуть такий вплив у майбутньому. Дисертаційне дослідження з обраної тематики є актуальним, оскільки загроза забруднення джерел питного водопостачання Калуського регіону істотною мірою визначається затопленням Домбровського кар'єру (52.5 млн. м<sup>3</sup>) та можливим витокм високомінералізованих розсолів в гравійно-гальковий водоносний горизонт та річкову мережу з поверхневих техногенних водойм. Об'єм розсолів у кар'єрі на початок 2020 р. становив 26,89 млн. м<sup>3</sup>. Мінералізація розсолів у його придонній частині 400 000 мг/дм<sup>3</sup>. Унаслідок взаємодії атмосферних опадів та підземних вод з соленосними породами зростає об'єм розсолів: рівень щорічно піднімається на два-три метри, а кількість збільшується на два-три мільйони тонн. Наразі рівень розсолів з концентрацією до 20 000 мг/дм<sup>3</sup> досягнув підшви прісного гравійно-галькового водоносного горизонту, який використовується для питного водопостачання, що загрожує погіршенням якості питної води та техногенною катастрофою.

Особливо актуальним є дослідження закономірностей формування гідрогеохімічної обстановки в зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей, а також теоретичних і практичних засад техногенної еволюції гідрогеологічного середовища внаслідок його експлуатації та пост-майнінгу. Такі дослідження ґрунтуються на експериментальних даних, моделюванні та прогнозуванні розвитку забруднення підземних вод у зоні техногенезу солевидобувного родовища.

У роботі описано геолого-гідрогеологічні особливості соляних родовищ Прикарпаття, охарактеризовано геологічну будову, гідрогеологічні умови району досліджень та проаналізовано геолого-екологічні наслідки експлуатації Калуш-Голинського родовища калійних солей. Основними породоутворюючими мінералами родовища є галіт, каїніт, сильвін, лангбейніт. У межах родовища містяться верховодка, гравійно-гальковий водоносний горизонт і розсільний горизонт на контакті солей з гіпсо-глинистою «шапкою» (води соляного дзеркала). Наведено короткий огляд еколого-геологічних наслідків експлуатації родовища, зокрема виникнення численних карсто-провальних процесів, активізацію просадкових явищ, підтоплення житлових масивів, забруднення підземних вод тощо, що в сукупності створює загрозливу екологічну ситуацію.

Основними потенційними джерелами засолення підземних вод є Домбровський кар'єр, хвостосховища, шламонакопичувач, солевідвали кар'єру, дамби, які є нестійкими та зони мульд просідання, в яких утворились солені озера.

Основним джерелом водопостачання м. Калуш є Добрівлянський водозабір, розташований за кілька кілометрів на південний захід від міста, на лівому березі річки Лімниця. Водозабір налічує 64 свердловини. Спостережних свердловин для відслідковування депресійної лійки та, відповідно, радіуса впливу роботи водозабору не існує. Спостереження за рівнями води в експлуатаційних свердловинах не проводяться. До цього часу забруднення Добрівлянському водозабору міста Калуш не загрожувало. Проте наразі рівень розсолів у Домбровському кар'єрі досяг підошви водоносного горизонту, що створює загрозу

забруднення гравійно-галькового горизонту питних вод розсолами та визначає актуальність даного дослідження.

У дисертаційній роботі представлено характеристику зони дренажного впливу Домбровського кар'єру та динаміку його заповнення розсолами. Проаналізовано зміну абсолютних відміток рівня розсолів у кар'єрі та виокремлено кілька часових періодів експлуатації:

1. Перший період — від початку експлуатації (1967 р.), коли рівень розсолів на південній ділянці становив 175 м, до повені 2008 р., після якої рівні південної та північної ділянок зрівнялися і досягли відмітки 255,4 м.

2. Другий період розпочався після повені 2008 р., гідравлічного з'єднання південного і північного кар'єрних полів, до початку 2017 р.

3. Третій період – квазістабільне наповнення кар'єру, що визначається зміною умов водного балансу об'єкта.

В умовах експлуатації та пост-майнінгу Калуш-Голинського родовища калійних солей, під впливом гірничих виробок, відвалів, хвостосховищ і шламонакопичувача, відбувається інтенсивне засолення гравійно-галькового горизонту. За таких умов для основного водоносного горизонту питних вод особливо актуальною є розробка заходів щодо його захисту від забруднення. Саме тому дослідження гідрогеологічних умов гравійно-галькового водоносного горизонту є вкрай важливим завданням. З метою визначення рівнів та напрямків розповсюдження засолення, а також прогнозування змін гідрогеологічних і гідрогеохімічних умов, здійснено пробовідбирання та ряд гідрогеологічних спостережень в зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру, визначено рівні ґрунтових вод.

Уперше за останні десятиліття побудовано карту гідроізогіпс гравійно-галькового водоносного горизонту, що дало змогу на основі фактичних експериментальних даних сформулювати уявлення про сучасні гідрогеологічні умови території дослідження. Отримані результати стали основою для створення математичної моделі гідрогеологічних умов і можуть бути використані під час

розробки заходів захисту гравійно-галькового водоносного горизонту від забруднення.

У дисертаційній роботі визначено динаміку зміни мінералізації та джерела забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту. Побудовано карту мінералізації об'єкта дослідження. Встановлено, що потужними джерелами забруднення підземних вод є солевідвали №1 та №4. Загалом, виявлено, що підвищені значення мінералізації спостерігаються у групі свердловин, які перебувають у зоні безпосереднього впливу поверхнево-техногенних водойм (хвостосховища, шламонакопичувача та ін).

Проаналізовано всі наявні літературні джерела та застосовано комплексний підхід щодо визначення коефіцієнта фільтрації (Кф) гравійно-галькового водоносного горизонту. Для визначення усередненого Кф для значної території використано балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр та знайдено параметри для його розрахунку. З використанням рівняння Дарсі у дисертаційній роботі встановлено, що Кф становить 5,3 м/добу. Вперше отримано коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас, що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і може бути застосований для прогнозування засолення підземних вод.

Проаналізовано динаміку хімічного складу розсолів поверхневого шару Домбровського кар'єру в період розробки калійної руди та після виведення Калуш-Голинського родовища з експлуатації. Спрогнозовано зміну гідрохімічних умов у гірничій виїмці. Виявлено стійку тенденцію опріснення води в гірничій виїмці. Зроблено прогноз щодо мінералізації поверхневого шару через 2-3 роки при досягненні кар'єрних вод максимальної відмітки наповнення – 295 м.

Запропоновано експрес-метод визначення хімічного складу розсолів за фізичними властивостями (густиною та мінералізацією) з уточненням розрахованих концентрацій за співвідношенням еквівалентного вмісту компонентів.

Доведено, що Домбровський кар'єр – природно-техногенна квазірівноважна система у внутрішньорічному плані в багаторічному циклі, яка залежить від гідрометеорологічних регіону.

У дисертаційній роботі представлено гідрогеологічний та гідрогеохімічний взаємозв'язок поверхневих та підземних вод. Вперше досліджено ізотопний склад вод у районі Домбровського кар'єру в межах об'єкта дослідження. Доведено, що за ізотопним складом води вплив надходження поверхневих техногенних вод зі сховищ можна фіксувати ще до появи в пробах підвищених концентрацій забруднювальних компонентів. Це проявляється у підвищених концентраціях  $^{18}\text{O}$ , D та  $^3\text{H}$  у пробах із спостережних свердловин.

Досліджено, що концентрації  $^3\text{H}$  у підземних водах змінюються від фонових значень 1,1-1,6 Бк/л, до рівнів  $< 0,5-0,6$  Бк/л, які характерні для поверхневих природних вод (ППВ) (рр. Сівка та Лімниця), а також поверхневих техногенних вод (ПТВ) (хвостосховища, шламонакопичувача, Домбровського кар'єру та інші). Встановлено вплив ПТВ хвостосховища № 2 та шламонакопичувача на хімічне забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту. Значний вплив на мінералізацію підземних вод справляють розсоли Солоного озера.

У дисертаційній роботі виконано просторову схематизацію граничних умов та визначено межі області фільтрації. Визначено граничні умови, проведено аналіз гідрогеологічних даних, що відображають сучасний стан території досліджень, та розроблено базу геологічних, гідрогеологічних і геохімічних даних. На цій основі побудовано цифрову тривимірну математичну модель гідрогеологічних умов для прогнозування засолення гравійно-галькового водоносного горизонту території Калуш-Голинського родовища калійних солей. Побудовано карту розподілу напорів та рівней ґрунтових вод станом на 15.08.2022 року, а також прогнозну карту гідроізогіпс і траєкторій руху засолених підземних вод під впливом надходження розсолів із Домбровського кар'єру. Зроблено прогноз забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту впродовж 40 років.

Розраховано зростання мінералізації підземних вод під впливом витоків розсолів із Домбровського кар'єру за умов досягнення рівня води в ньому позначки 295 м.

Встановлено, що вплив витоків розсолів із Домбровського кар'єру не спричинять забруднення Добрівлянського водозабору – єдиного джерела питного водопостачання м. Калуш та прилеглих населених пунктів.

Досліджено можливі шляхи подолання екологічної кризи, які можуть підвищити рівень екологічної безпеки Калуського регіону та сприяти сталому економічному розвитку країни загалом шляхом переробки розсолів.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у можливості застосування її наукових положень і висновків для розроблення заходів захисту гравійно-галькового водоносного горизонту від сольового забруднення та усунення додаткової загрози забруднення джерел водопостачання в межах регіону досліджень. Отримані результати можуть бути використані при розробленні комплексної, науково обґрунтованої системи заходів із мінімізації екологічних загроз і ризиків для здоров'я населення, пов'язаних із розвитком небезпечних геологічних процесів, що суттєво підвищить рівень безпеки життєдіяльності у регіоні.

**Ключові слова:** Калуш-Голинське родовище, Домбровський кар'єр, зона дренажного впливу, граничні умови, гравійно-гальковий водоносний горизонт, розсоли, сольове забруднення, математична модель, мінералізація.

## ABSTRACT

**Malkova Y.O.** Hydrogeochemistry of brines at the Kalush-Golinsky potassium salt deposit in the drainage influence zone of the Dombrovsky quarry. - Qualification scientific work with the manuscript copyright.

The thesis for a candidate of geological sciences degree in speciality 04.00.06 - "Hydrogeology" – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine.

The presentation of the dissertation will be at the Specialized Academic Council of the Taras Shevchenko National University of Kyiv, ERI «Institute of Geology», Kyiv, 2025.

The Dombrovsky quarry, which has been in operation since 1967, is the only one in the world where potash ore has been mined through open-pit methods. Over the course of the Kalush-Golinsky potash deposit's exploitation, mining geocomplexes have developed, including several mining and processing facilities. These have long been creating a technogenic load, and this impact is expected to continue in the future. The relevance of the dissertation research is clear, as the threat to drinking water sources in the Kalush region is largely determined by the flooding of the Dombrovsky quarry (52.5 million m<sup>3</sup>) and the potential leakage of highly mineralised brines into the gravel and pebble aquifer, as well as the river system, from surface man-made reservoirs.

As of early 2020, the volume of brines in the quarry was 26.89 million m<sup>3</sup>, with mineralisation in its bottom part reaching 400 g/l. Due to the interaction between precipitation, groundwater, and saline rocks, the brine volume is increasing—the level rises by two to three metres annually, with the amount increasing by two to three million tonnes. Currently, the brine level, with a concentration of up to 20 g/l, has reached the bottom of the gravel and pebble aquifer used for drinking water supply, threatening to deteriorate the quality of drinking water and potentially causing a man-made disaster. Of particular relevance is the study of the formation mechanisms of the hydrogeochemical situation in the drainage zone of the Dombrovsky open pit of the Kalush-Golinsky potash deposit, the theoretical and practical principles of the technogenic evolution of the

hydrogeological environment as a result of the operation and post-mining of the deposit, based on experimental data, modelling and forecasting the development of groundwater pollution in the area of the salt deposit's technogenesis.

The thesis describes the geological and hydrogeological features of the salt deposits in the Carpathian region, characterises the geological structure and hydrogeological conditions of the study area, and analyses the geological and environmental impacts of the Kalush-Golynsky potassium salt deposit. The main rock-forming minerals of the deposit include halite, kainite, sylvite, and langbeinite. The deposit contains a top-water aquifer, a gravel-pebble aquifer, and a brine aquifer at the contact between the salts and a gypsum-clay "cap" (salt mirror waters). The article provides a brief overview of the environmental and geological consequences of the deposit's exploitation, particularly the emergence of numerous karst processes, intensification of subsidence phenomena, flooding of residential areas, groundwater pollution, and other issues.

The main potential sources of groundwater salinity include the Dombrovsky open-pit mine, tailings ponds, sludge ponds, salt dumps from the quarry, unstable dams, and mudflats where salt lakes have formed.

The main source of water supply for Kalush city is the Dobrivlyansky water intake, which is located several kilometres south-west of Kalush on the left bank of the Limnytsia River. It has 64 wells. There are no observation wells to monitor the depression funnel and, accordingly, the radius of influence of the water intake operation. Levels in production wells are not monitored. So far, the Dobrivlyansky water intake in Kalush has not been threatened by contamination. However, the level of brines in the Dombrovsky quarry has now reached the bottom of the aquifer, which poses a threat of contamination of the gravel and pebble horizon of drinking water with brines and determines the relevance of this study.

The thesis describes the characteristics of the drainage zone of the Dombrovsky quarry and the dynamics of filling the quarry with brines, analyses the dynamics of the absolute marks of the Dombrovsky quarry brine level and identifies several time periods during its operation. The first period is from the beginning of operation (1967) - the level

of +175 m in the southern section - until the flood of 2008, when the levels of the southern and northern sections were equal - the level of 255.4 m. The second period began after the 2008 flood and hydraulic connection of the southern and northern quarry fields and lasted until early 2017. The third period is quasi-stable quarry filling, which is determined by changes in the water balance of the facility.

During the operation and post-mining of the Kalush-Golynsky potash deposit, the gravel and pebble horizon is significantly salinised by mine excavations, dumps, tailings and sludge ponds. Under these conditions, it is important to develop measures to protect the main drinking water aquifer from pollution. That is why the study of hydrogeological conditions of the gravel and pebble aquifer is an extremely urgent task. Samples were taken and a number of hydrogeological observations were made in the drainage area of the Dombrovsky open pit, groundwater levels were measured to determine the levels and directions of salinity spread, and to predict changes in hydrogeological and hydrogeochemical conditions.

For the first time in recent decades, a hydroisohypsum map of the gravel and pebble aquifer was created, which allowed to provide an idea of the current hydrogeological conditions of the study area based on actual experimental data. These data formed the basis for the creation of a mathematical model of hydrogeological conditions and can be used to develop measures to protect the gravel and pebble aquifer from pollution.

The dynamics of mineralisation changes and sources of contamination of the gravel and pebble aquifer were determined in the thesis. A mineralisation map of the study area was constructed. It has been established that salt dumps No. 1 and No. 4 are a powerful source of groundwater pollution. In general, it was found that elevated mineralisation values are observed in a group of wells located in the area of direct influence of surface-man-made water reservoirs (tailings, sludge ponds, etc.).

All available literature sources have been analysed and a comprehensive approach to determining the filtration coefficient of the gravel and pebble aquifer had been developed. To determine the average filtration coefficient for a large area, balance methods of instrumental determination of water inflow to the quarry were used and parameters for its

calculation were found. Using Darcy's equation, the thesis determined that the filtration coefficient is 5.3 m/day. For the first time, the filtration coefficient of the gravel and pebble aquifers of the I, II and III floodplain terraces was obtained, which averages the filtration properties of soils over a large area and can be used to make predictions of groundwater salinity.

The dynamics of the brines chemical composition of the surface layer of the Dombrovsky quarry during the potash ore mining and after the decommissioning of the Kalush-Golynsky deposit was analysed. Changes in the hydrochemical conditions in the mine excavation were predicted. A steady trend of desalination of water in the mine workings was identified. A forecast is made for the mineralisation of the surface layer in 4 years when the quarry water reaches the maximum filling level of 295 m.

An express method for determining the chemical composition of brines by physical properties (density and mineralisation) with the refinement of the calculated concentrations by the ratio of equivalent content of components was proposed.

It is proved that the Dombrovsky quarry is a natural and man-made quasi-equilibrium system in the annual cycle, which depends on the hydrometeorological conditions of the region.

This thesis presents the hydrogeological and hydrogeochemical interrelation of surface and groundwater. For the first time, the isotopic composition of surface and groundwater in the area of the Dombrovsky quarry within the study area was investigated. It is proved that the isotopic composition of water can be used to detect the effect of surface anthropogenic water inflow from the storage facilities even before the appearance of increased concentrations of pollutants in the samples, which is manifested in increased concentrations of  $^{18}\text{O}$ , D and  $^3\text{H}$  in samples from observation wells.

It was found that  $^3\text{H}$  concentrations in groundwater vary from background values of 1.1-1.6 Bq/l to levels  $< 0.5-0.6$  Bq/l, which are typical for surface natural waters (Sivka and Limnytsia rivers) and surface anthropogenic waters (tailings, sludge ponds, Dombrovsky quarry, etc.). The influence of the tailing dump No. 2 and sludge pond on the

chemical contamination of the gravel and pebble aquifer was determined. The salts of the Salt Lake have a significant impact on groundwater salinity.

A spatial schematisation of boundary conditions was performed and the boundaries of the filtration area were determined, boundary conditions were determined, hydrogeological data reflecting the current state of the research area were analysed, and a database of geological, hydrological and geochemical data was developed in the dissertation work. A digital 3-dimensional mathematical model of hydrogeological conditions was built to predict the salinisation of the gravel-pebble aquifer of the Kalush-Golynsky potash deposit. A map of the distribution of groundwater heads and levels as of 15.08.2022, as well as a predictive map of the groundwater hydroisohypsis and trajectories of saline groundwater movement under the influence of brine inflow from the Dombrovsky quarry were constructed. A forecast of contamination of the gravel and pebble aquifer over 40 years was made. The growth of groundwater salinity under the influence of brine leakage from the Dombrovsky quarry at a water level of 295 m was calculated.

It was found that the impact of brine leaks from the Dombrovsky quarry will not affect the pollution of the Dobrivliansky water intake, the only source of drinking water supply for Kalush and nearby settlements.

Ways of solving the environmental crisis that could improve the environmental safety of the Kalush region and contribute to the sustainable economic development of the country as a whole through brine processing was investigated.

The practical significance of the thesis consists in the possibility of applying the scientific provisions and conclusions of the thesis in the development of means of protecting the gravel and pebble aquifer from salt pollution and eliminating an additional threat of pollution of water sources in the research region. The results of the study can be applied in the development of a comprehensive scientifically based system of measures to minimise environmental threats and risks to public health due to the development of hazardous geological processes, which will significantly improve the safety of life in the region.

**Key words:** Kalush-Golynsky deposit, Dombrovsky quarry, drainage impact zone, boundary condition, gravel and pebble aquifer, brine, salt pollution, model, mineralisation.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. **Y.O. Malkova**, I.O. Kovalenko, V.V. Dolin, Y.M. Demikhov, M.I. Panasiuk, N.V. Sosonna, S.M. Bagriy, E.D. Kuzmenko, I.P. Onyshchenko, U. Saravana Kumar, M.G. Buzynnyi (2023). Isotope composition of groundwater and surface waters in the area of the Dombrovsky quarry of Kalush-Golinsk deposit of potassium salts // *Journal of Environmental Radioactivity* 257 (2023), p. 1-8.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107083>. *Квартиль Q2, Scopus*

2. Kosharna Sophia, **Malkova Yana**, Ľubica Kozáková, Zuzana Frankova, Monika Nadova Kroslovakova, Zuzana Sedlakova (2021). Prospects for extraction of useful elements out of the brines of the Pre-carpathian downfold // *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (2021), 4. p. 834-842 DOI: 10.46544/AMS.v26i4.19. *Scopus*

3. **Малькова Я.О.**, Коваленко І.О., Долін В.В., Панасюк М.І., Деміхов Ю.М., Сосонна Н.В., Багрій С.М., Кузьменко Е.Д (2022), Ізотопно-радіогеохімічне дослідження підземних вод Калуш-Голинського родовища калійних солей. *Геохімія техногенезу*, 7 (35), 2022: 73-77. DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.14> *Фахове видання України Категорія Б.*

4. С.О. Довгий, М.М. Коржнев, О. М. Трофимчук, М.М.Курило, Є.О. Яковлев, М.Л. Миронцов, Є.С. Анпілова, І.В. Віршило, С.К. Кошарна, О.М. Сухіна, **Я.О.Малькова** (2022). Засади формування екологічної політики у мінерально-сировинному комплексі України в сучасних умовах // *Наук. ред. М.М. Коржнев; НАН України; Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України: - Київ: Nika-Center, 2022. – 200 с. ISBN 978-966-7067-47-2 Частина колективної монографії*

5. **Малькова Я.**, Долін В., Яковлев Є. (2020). Еколого-техногенні закономірності формування розсолів Домбровського кар'єру // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія.* – 2020. – №

4(91). DOI: 10.17721/1728-2713.91.09 *фахове наукове видання України, категорія А, web of science*

6. **Малькова Я. О.**, Бобков В. М., Долін В. В. (2020). Моделювання кінетики розчинення мінералів соленосних порід Домбровського кар'єру // *Мінералогічний журнал*. – 2020. – 42, № 4. – С. 60–68. URL: <http://jnas.nbuiv.gov.ua/article/UJRN-0001217555> *Фахове наукове видання України, категорія А, web of science*

7. **Малькова Я. О.**, Долін В. В., Бобков В. М. (2020). Експериментальне моделювання конвекційно-дифузійного масоперенесення в розсолах Домбровського кар'єру (м. Калуш Івано-франківської обл.) // *Мінеральні ресурси України*. – 2020. - № 4. – С. 22-27. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.22-27> *Scopus*

*Опубліковані праці апробаційного характеру*

1. Sosonna N., Panasiuk M., **Malkova Ya.**, Kovalenko I., Bagriy S., Buzynnyi M (2023), Mathematical model of hydrogeological conditions and forecasts of groundwater salinization under the influence of Dombrovsky quarry of Kalush-Golinsky potassium salt deposit // *17th International conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*. Nov 2023, Volume 2023, p.1 – 5.

DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520185> *Scopus*

2. **Y. Malkova**, O. Kopylenko, M. Panasiuk, N. Sosonna, S. Bagriy, I. Onyshchenko (2022), Hydrogeochemical conditions of the Dombrovsky quarry as a source of groundwater pollution // *16th International Conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*. Nov 2022, Volume 2022, p.1 – 5.

DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580186>. *Scopus*

3. S. Kosharna, **Y. Malkova** (2021), Methods and perspectives of combined ecological and economic regulation by an example of the Kalush-Golinsky potassium salt deposit // *Conference Proceedings, 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2021, Volume 2021, p.1 – 5.

DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2031>. *Scopus*

4. **Малькова Я. О.**, Долін В. В., Яковлев Є. О., Кузьменко Е. Д., Багрій С. М. (2021), Динаміка засолення гравійно-галькового водоносного горизонту питних вод в межах Калуш-Голинського родовища калійних солей // *Збірник матеріалів ІХ всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Наукова молодь – 2021»*, 30 листопада 2021 р., м. Київ, - с. 179-185.

5. **Malkova Y.**, Dolin V., Yakovlev Y. (2020), Formation regularities of liquid body of Dombrovsky quarry // *Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*, May 2020, p.1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo079>. *Scopus*

6. **Малькова Я.О.**, Долін В.В. (2020), Еволюція хімічного складу розсолів Домбровського кар'єру // *Зб. VIII Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Наукова молодь-2020»*, 21 жовтня 2020 р., м. Київ, - с. 178-182.

7. **Malkova Y.**, Dolin V., Yakovlev Y., Kuzmenko E., Shcherbak O. (2021), Conjugated effects between surface- and groundwater mineralization within the drainage zone of Dombrovsky quarry // *Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2021* May 2021. *Scopus*

8. Родіонов В.Є., Долін В.В., **Малькова Я.О.** Пристрій для експрес-вимірювання мінералізації розчину. Патент України на корисну модель № 147386. Зареєстровано 05.05.2021. – Бюл. № 18.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати

1. Щербак О.В., Долін В.В. (мол.), Руденко І.М., Кошлякова Т.О., **Куцка Я.О.** Оцінка ефективності радіогідрогеологічного моніторингу в зоні впливу Київського сховища радіоактивних відходів // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія.* – 2016. – № 2(73). – С. 46–52. *Web of science*

2. Щербак О.В., Долін В.В. (мол.), Руденко І.М., Кошлякова Т.О., **Куцка Я.О.** Моделювання поверхні рівня ґрунтових вод як індикатора радіаційної безпеки території // *Тези доповідей XV Міжнародної конференції «Геоінформатика:*

*теоретичні та прикладні аспекти». Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – К., 2016. – 9612\_UA. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600461> Scopus*

3. Долін В.В., Яковлев Є.О., Щербак О.В., **Куцка Я.О.** Еволюція контурів радіогідрогеохімічної аномалії тритієвого забруднення в зоні впливу приповерхневого сховища радіоактивних відходів // Тези доповідей XIV Міжнародної конференції «*Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти*». Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К., 2015. - 8135\_UA. Scopus, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600461> Scopus

## Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
<i>РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ПОСТ-МАЙНІНГУ СОЛЯНИХ РОДОВИЩ ПРИКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ.....</i>	<i>29</i>
1.1. Огляд літератури по темі гідрогеохімія розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей у зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру.....	29
1.2. Географо-економічні умови об'єкту дослідження.....	36
1.3. Геологічна характеристика Калуш-Голинського родовища калійної солі...37	
1.4. Гідрогеологічні умови регіону дослідження.....	40
1.5. Загальний огляд наслідків експлуатації Калуш-Голинського родовища калійної солі.....	48
1.5.1. Динаміка засолення гравійно-галькового водоносного горизонту питних вод.....	58
1.6. Висновки до розділу.....	60
<i>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</i>	<i>62</i>
2.1. Висновки до розділу.....	70
<i>РОЗДІЛ 3. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ РОЗСОЛІВ У ЗОНІ ДРЕНАЖНОГО ВПЛИВУ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ.....</i>	<i>71</i>
3.1. Геоінфільтраційне поле Домбровського кар'єру.....	71
3.2. Динаміка заповнення кар'єру розсолами.....	73
3.3. Висновки до розділу.....	80
<i>РОЗДІЛ 4. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОГЕОХІМІЧНІ УМОВИ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</i>	<i>82</i>
4.1. Сучасні гідрогеологічні умови гравійно-галькового водоносного горизонту.....	82
4.2. Аналіз гідрохімічного складу підземних вод .....	86

4.3. Аналіз матеріалів визначення коефіцієнта фільтрації гравійно-галькового алювіального водоносного горизонту.....	99
4.4. Визначення коефіцієнта фільтрації по даним надходження води в Домбровський кар'єр.....	101
4.5. Висновки до розділу.....	105
<i>РОЗДІЛ 5. ГІДРОХІМІЧНІ ЧИННИКИ ЕВОЛЮЦІЇ СКЛАДУ РОЗСОЛІВ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ.....</i>	<i>107</i>
5.1. Хімічний склад розсолів.....	108
5.2. Залежність фізико-хімічного складу розсолів від притоків води.....	124
5.3. Гідрогеостратиграфічні закономірності формування хімічного складу розсолів.....	125
5.4. Висновки до розділу.....	135
<i>РОЗДІЛ 6. ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРАВІЙНО-ГАЛЬКОВОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТУ ІЗОТОПНИМИ МЕТОДАМИ.....</i>	<i>136</i>
6.1. Розподіл тритію.....	138
6.1.1. Методика визначення тритію та отримані результати.....	138
6.2. Розподіл кисню та водню.....	141
6.2.1. Методика визначення кисню та водню.....	141
6.2.2. Розподіл стабільних ізотопів водню та кисню.....	142
6.3. Висновки до розділу.....	150
<i>РОЗДІЛ 7. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАСОЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ВПЛИВОМ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ КАЛУШ-ГОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ.....</i>	<i>152</i>
7.1. Висновки до розділу.....	158
<i>РОЗДІЛ 8. ПЕРСПЕКТИВИ ВИЛУЧЕННЯ КОРИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З РОЗСОЛІВ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ.....</i>	<i>159</i>
8.1. Висновки до розділу.....	170
<i>ВИСНОВКИ.....</i>	<i>171</i>
<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</i>	<i>174</i>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГРЕ	Геолого-розвідувальна експедиція
ДГП	Державне геологічне підприємство
ВС	водоносна система
ЕГП	екзогенні геологічні процеси
ГГШ	гіпсо-глиниста шапка
НС	надзвичайна ситуація
КДТ	кільцева дренажна траншея
ДП	Державне підприємство
ДП НДІГ	Державне підприємство Науково-дослідний інститут Галургія
ВАТ	Відкрите акціонерне товариство
ГДК	гранично допустима концентрація
ТЕО	Техніко-економічне обґрунтування
ІФНТУНГ	Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
РГВ	рівень ґрунтових вод
Кф	Коефіцієнт фільтрації
ХС	хвостосховище
ШН	шламонакопичувач
ППВ	поверхневі природні води
ПТВ	поверхневі техногенні води
ДУ	Державна установа
НАН	Національна академія наук

## ВСТУП

Дисертаційна робота присвячена дослідженню гідрогеологічної системи Калуш-Галунського родовища калійних солей в зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру, хімічного складу підземних та поверхневих вод, визначенню гідрогеологічних параметрів для прогнозування якості води гравійно-галькового водоносного горизонту в умовах природно-техногенної еволюції Домбровського кар'єру, від дренажної системи до джерела живлення. Дослідження фокусується на виявленні напрямків та рівнів впливу можливих джерел хімічного забруднення підземних вод: водами Домбровського кар'єру, хвостосховища та шламонакопичувача, солевідвалів, засолених ґрунтів. На основі отриманих даних та побудованої гідрогеологічної моделі стало можливим здійснити прогнозний розрахунок сольового забруднення підземних вод.

**Актуальність теми.** Внаслідок експлуатації Калуш-Голинського родовища калійних солей протягом майже двох століть (1826-2008 рр.) було порушено геоекологічну рівновагу в товщі гірських порід. Це спричинило численні провали земної поверхні над площею шахтних полів, руйнування будинків і комунікацій, засолення водоносних горизонтів та інтенсивного розвитку карстових процесів.

У 2008 р. водовідлив з кар'єру було припинено після повені та прориву поверхневих вод р. Сівка в кар'єр. З того часу рівень розсолів почав підвищуватись з швидкістю від 6.3 м/рік протягом 2008-2010 рр. до 1.5 м/рік у період 2012-2022 рр.. На сьогоднішній день, кар'єр слугує дренаєм для підземних вод. Його вироблений простір складає 50.4 млн. м<sup>3</sup>. Об'єм розсолів на початок 2020 р. становив 26,89 млн. м<sup>3</sup>. Мінералізація в придонній частині досягає 400 000 мг/дм<sup>3</sup>, а в поверхневому шарі води – до 20 000 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальний безпечний об'єм наповнення складає 41 млн. м<sup>3</sup>, що відповідає позначці води в кар'єрі 295 м. Загроза забруднення джерел питного водопостачання Калуського регіону значною мірою визначається неконтрольованим затопленням Домбровського кар'єру та витоків висококонцентрованих розсолів з поверхневих техногенних водойм (хвостосховища,

шламонакопичувача, солевідвалів) у гравійно-гальковий підземний водоносний горизонт. При збереженні поточних темпів наповнення кар'єру рівень кар'єрних вод досягне максимальної позначки через 3-4 роки, що загрожує погіршенням якості підземних вод та виникненням надзвичайної екологічної ситуації.

Дослідження гідрогеологічної системи Калуського регіону, визначення рівнів та напрямків розповсюдження засолення, а також прогнозування змін гідрогеологічних та гідрогеохімічних умов є актуальним завданням, що буде основним підґрунтям для розробки заходів захисту підземних вод від забруднення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі гідрогеології та інженерної геології ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка в рамках держбюджетної теми НДР № 16КП049-10 «Вивчення та моделювання наслідків впливу техногенних чинників на природний стан підземної гідросфери та ґрунтів, наукове обґрунтування заходів по запобіганню або мінімізації згаданих негативних наслідків», держбюджетної теми НДР ДУ «ІГНС НАН України» «Геолого-геохімічні процеси в системах зберігання відходів гірничо-переробної промисловості: впливи на довкілля та раціональне використання природних ресурсів», № державної реєстрації 0116U000160, держбюджетної теми НДР ДУ «ІГНС НАН України» «Термодинаміка геохімічних процесів в навколишньому середовищі під впливом природних та техногенних чинників», № державної реєстрації 0121U107728. Відповідно до Розпоряджень Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 740-р, від 01.08.2013 р. № 741-р та Івано-Франківської ОДА від 27.12.2019 № 700.

**Мета і завдання дослідження.**

Метою дисертаційної роботи є дослідження механізму формування хімічного складу гравійно-галькового водоносного горизонту та розсолів Домбровського кар'єру, а також прогнозування забруднення підземних і поверхневих вод в умовах природно-техногенної еволюції Домбровського кар'єру від дренажної системи до

джерела живлення для запобігання виникнення еколого-гідрогеохімічної надзвичайної ситуації на сучасному етапі пост-майнінгу.

Для досягнення мети у дисертаційній роботі передбачалося поетапно виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасні дослідження, наукові матеріали та звітну документацію щодо еколого-гідрогеохімічного стану Калуш-Голинського родовища калійних солей;

2. Провести польові дослідження, що включали вимірювання рівня ґрунтових вод, відбір проб на хімічний та ізотопний аналіз;

3. Дослідити гідрогеологічну обстановку в межах родовища, зону дренажного впливу кар'єру та закономірності формування хімічного складу розсолів Домбровського кар'єру;

4. Проаналізувати динаміку засолення питних підземних вод та поверхневих водних об'єктів;

5. Визначити джерела хімічного забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту за допомогою ізотопних методів;

6. Побудувати математичну модель гідрогеологічних умов та виконати прогноз засолення підземних вод під впливом Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей;

7. Проаналізувати перспективи вилучення корисних елементів з розсолів Передкарпатського прогину, в тому числі Домбровського кар'єру.

**Об'єктом дослідження** є природно-техногенні процеси та умови формування сольового забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту.

**Предметом дослідження** є Калуш-Голинське родовище калійних солей, хімічний та ізотопний склад поверхневих та підземних вод і розсолів, що накопичуються у водоймах техногенного генезису та гідрогеологічна система в зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру.

**Методи дослідження.** Методологією дослідження є комплексний аналіз даних гідрогеологічного, інженерно-геологічного, гідрогеохімічного опробування, в тому

числі власного пробовідбирання, а також результатів лабораторних аналізів з позицій класичної та ізотопної гідрогеохімії і геохімії техногенезу. Використовувалися спеціальні методи – геологічні, гідрогеологічні та екологічні, як загальновідомі, так і удосконалені здобувачем, зокрема польові, хіміко-аналітичні, ізотопно-геохімічні, порівняльні, графо-аналітичні. Для обробки інформації застосовувався ряд загальнонаукових методів досліджень – аналіз, синтез, систематизація, класифікація. Для систематизації різнопланових показників та вибору найбільш репрезентативних із них використано раціональне комплексування. При обробці отриманого значного масиву даних використовувалися математико-статистичні методи. Збір та узагальнення фондових літературних джерел проведено в комплексі зі статистичним аналізом даних моніторингових спостережень, власних експериментальних даних; їх систематизацію, візуалізацію та моделювання здійснено у середовищі Microsoft Excel, Statistica, ArcGIS, Visual Modflow Flex. Використано кількісну оцінку гідрогеологічних параметрів та складових водного балансу із використанням математичного моделювання. При моделюванні змін гідрогеохімічних особливостей підземних вод використовувалися геоінформаційні методи (інтерполяції та аналогій, при побудові картографічних матеріалів – метод зворотно-виважених відстаней). Опис методик наводиться у відповідних розділах.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання в галузі гідрогеології – дослідження закономірностей формування гідрогеохімічної обстановки у зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру в умовах його природно-техногенної еволюції від дренажної системи до джерела живлення.

1. Вперше виконано просторову схематизацію граничних умов та визначено межі області фільтрації: гранична умова I роду (р. Лімниця, р. Чечва) на півдні, II роду на сході моделі та III роду на заході. Вперше побудовано цифрову тривимірну математичну модель гідрогеологічних умов для прогнозування засолення гравійно-галькового водоносного горизонту території Калуш-Голинського родовища

калійних солей. За результатами моделювання встановлено, що підвищення мінералізації через 40 років не є катастрофічним для водоносного горизонту. Вплив витоків розсолів з Домбровського кар'єру не вплине на забруднення Добрівлянського водозабору, єдиного джерела питного водопостачання м. Калуш та прилеглих населених пунктів.

2. Вперше ізотопно-геохімічними методами на регіональному та об'єктовому рівнях встановлено зв'язок поверхневих та підземних вод. Надходження хімічного забруднення з поверхневих техногенних водойм (ПТВ) у підземні води супроводжується підвищенням вмісту важких ізотопів водню та кисню ( $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ), у пробах із спостережних свердловин. Доведено, що за ізотопним складом можлива рання ідентифікація радіального потоку з поверхневих у підземні водоносні горизонти, задовго до виявлення підвищених концентрацій забруднюючих компонентів у пробах.

3. Вперше з використанням балансових методів та в поєднанні з комплексним аналізом літературних матеріалів визначено коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас - 5,3 м/добу, що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і може бути застосований для виконання прогнозів засолення підземних вод.

**Практичне значення очікуваних наукових результатів** полягає в можливості застосування наукових положень і висновків дисертаційної роботи у розробці заходів захисту гравійно-галькового водоносного горизонту від сольового забруднення. Результати дослідження можуть бути застосовані при розробці комплексної науково обґрунтованої системи заходів щодо мінімізації екологічних загроз, ризиків для здоров'я населення внаслідок розвитку небезпечних геологічних процесів, забруднення джерел питного водопостачання, що суттєво підвищить безпеку життєдіяльності у регіоні. За результатами роботи розроблено «Пристрій для експрес-вимірювання мінералізації розчину», який може використовуватися для виробництва електроенергії (патент на корисну модель № 147386). Отримані результати можна використати при розробці проекту реструктуризації калійного

заводу та промислової переробки кар'єрних розсолів. Результати дослідження впроваджено в навчальному процесі (ДУ ІГНС НАН України, КНУ ім. Тараса Шевченка, ІФНТУНГ).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертанткою верифіковано та проаналізовано літературні та фондові джерела за темою дослідження; зібрано та опрацьовано матеріали щодо гідрогеологічних та гідрогеохімічних досліджень зони дренажного впливу Домбровського кар'єру. Дисертантка брала участь у виконанні безпосередньо польових гідрогеологічних дослідженнях, а саме у пробовідбиранні зразків поверхневих та підземних вод, вимірюванні рівнів підземних вод, у постановці задач дослідження, у теоретичному аналізі, обробці та узагальненні отриманих лабораторних даних; у формулюванні висновків, написанні та підготуванні публікацій до друку. Дисертанткою проаналізовано гідрогеохімічні закономірності зони депресійної лійки та зроблено прогноз забруднення підземних вод у регіоні досліджень.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати дослідження доповідалися та обговорювалися на щорічних звітах кафедри гідрогеології та інженерної геології, а також на семінарах кафедри з запрошенням науковців інших кафедр та провідних фахівців Інституту геологічних наук НАН України, на розширеному еколого-геохімічному семінарі ДУ ІГНС НАН України. Основні теоретичні положення та методичні результати доповідались і представлялись на наукових конференціях: 17th International conference «Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment» (Kyiv – 2023), Міжнародна науково-практична конференція «Геохімія техногенезу: Виклики XXI століття» (Київ - 2022), 16th international conference «Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment» (Kyiv - 2022), 15th international conference «Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment» (Kyiv – 2021), XXth international conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects» (Kyiv – 2021), всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Наукова молодь – 2021» (Київ - 2021), «Geoinformatics: Theoretical and Applied

Aspects 2020» (Kyiv - 2020), VIII Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Наукова молодь-2020», (Київ – 2020), XIV Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» (Київ 2015), XV Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» (Київ 2016).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи були опубліковані в 20 наукових працях, з яких 4 статті – в іноземних виданнях, з них 2 індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS (1 – в журналі Q1-Q2); 4 статті – у наукових фахових виданнях України, з яких 3 індексуються в Web of Science; 8 праць, що підтверджують апробацію матеріалів дисертації (тези доповідей у збірниках матеріалів закордонних, міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій, з яких 7 індексуються в Scopus); 1 монографія та 1 патент. Ця кількість публікацій є достатньою відповідно до п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається з вступу, восьми розділів, висновків та списку використаних джерел. Дисертаційну роботу викладено на 147 сторінках тексту, використано літератури – 140 найменувань, містить 46 рисунків та 25 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 190 сторінки.

**Подяки.** Автор щиро вдячний науковому керівникові докт. геол. наук, проф. Віктору Володимировичу Доліну за допомогу та поради з узагальнення та обробки отриманих даних. Велика подяка канд. техн. наук. Миколі Івановичу Панасюку за цінні зауваження, допомогу та підтримку в процесі підготовки роботи. Автор щиро вдячний зав. кафедри, канд. геол. наук, доценту Дмитру Федоровичу Чомку, докт. геол. наук, професору Олексію Євгеновичу Кошлякову та співробітникам кафедри гідрогеології та інженерної геології ННІ «Інститут геології» за поради під час написання дисертаційної роботи. Автор вдячний колективу ДП "НДІ ГАЛУРГІЇ", зокрема інженер-геологу Садовому Ю. В., ДП «Калійний завод» Барановському Б.Т.

за допомогу в пробовідбиранні та наданні аналітичних результатів для узагальнення. Дослідження проводились за фінансової підтримки Міжнародного агентства з атомної енергії, яке є частиною координованого дослідницького проєкту «F33026» під назвою «Розробка та застосування ізотопних методів для ефективного управління водними ресурсами в гірничодобувних районах».

# РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ПОСТ-МАЙНІНГУ СОЛЯНИХ РОДОВИЩ ПРИКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

## 1.1. Огляд літератури по темі гідрогеохімія розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей у зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру

Видобуток калійних солей у Передкарпатському прогині, зокрема на таких значущих, хоча наразі вже не діючих об'єктах, як Калуш-Голинське, Стебницьке та Солотвинське родовища, спричинив виникнення низки еколого-економічних проблем, які з кожним роком набувають дедалі більшого поширення. Аналіз сучасних наукових досліджень [25-27, 36, 37] дозволив виокремити з-поміж інших головний фактор, вплив якого охоплює практично всі елементи біосфери, а саме надмірні об'єми розсолів, що лишилися в спадок від гірничодобувної діяльності попередніх років.

Район досліджень є складовою частиною Західної України та охоплює адміністративну територію Івано-Франківської області. Територія області, в межах якої розташовані Зовнішні Карпати, Передкарпатський прогин та околиця Східноєвропейської платформи, характеризується різним ступенем вивченості геологічної будови.

Вивченням будови Прикарпатських родовищ калійних солей у 1930–1937 роках займався геолог Варшавського геологічного інституту Ч. Кужняр. Результати своїх досліджень він опублікував у низці праць [141, 143]. У цих роботах подано погляди на особливості літологічного складу, будову стратиграфічного розрізу та тектоніку соленосної формації, а також її співвідношення з підстеляючими та перекриваючими породами в межах родовищ Стебника та Калуша.

У 1950-х роках не проводилося спеціальних робіт із вивчення та картографування інженерно-геологічних процесів — як природних, так і тих, що виникали внаслідок господарської діяльності. Більше того, на той час не було розроблено ефективних методів дослідження, а розвитку екзогенних процесів у регіональному плані не приділяли належної уваги. Вивчалися лише катастрофічні

явища локального характеру. Водночас у 1946–1949 роках було проведено гідрогеологічну зйомку під керівництвом Овчиннікова. У результаті експедиції виявлено регіональні особливості поширення підземних вод [87].

Район робіт повністю покритий геологічною зйомкою масштабу 1:200 000 (Уженков Г. А., 1963 р.; Стрелкова Н. Є., 1963 р.; Власов Б. І., 1960 р.; Ролік А. Г., 1972 р.; Шраменко Г. П., 1959 р.; Жовінський Є. Я., 1972 р.; Чулочников В. І., 1970 р.).

Крім того, складено гідрогеологічні карти масштабу 1:200 000 (Шестопалова Є. В., 1974 р.; Стрелкова Н. Є., 1976 р.; Шестопалов В. М., 1974 р.; Шестопалова Є. В., 1970 р.; Шраменко Г. П., 1970 р.). У період з 1963 по 1990 рр. Львівська ГРЕ тресту «Київгеологія» (з 1981 р. — ДГП «Західукргеологія») проводила на цій території комплексну геологічну зйомку масштабу 1:50 000. На більшій частині території ці роботи виконано під керівництвом В. О. Ващенка. Інші ділянки закартовані І. І. Герасимовою, Л. С. Герасимовим, А. М. Денісевичем, І. Ф. Гермаком, П. Г. Лазаренком, В. Й. Гірним, В. Т. Кардашем, В. Я. Іванченком, І. П. Мочальним.

Роботи супроводжувалися великим обсягом пошуково-картувального буріння та різноманітних опробувань. У результаті великомасштабних зйомок території дослідження відносно детально вивчено геологічну будову, а також надано оцінку різноманітним корисним копалинам.

Усі пошукові та геологозйомочні роботи супроводжувалися геофізичними дослідженнями, які виконували в різні роки Н.І. Прус, Л.Д. Райхер, І.З. Гонтовий, М.Й. Червонський, Т.П. Поморцева, А.В. Тесленко та інші. Над узагальненням геофізичних досліджень, що проводилися під час пошуків нафти і газу, працювали В.І. Антипов, С.І. Суботін та інші. У результаті досліджень майже вся територія, за винятком прикордонної площі, покрита гравіметричною та аеромагнітною зйомками масштабу 1:50 000 і сейсморозвідкою цього ж масштабу [63].

Суттєва зміна уявлень стосовно геологічного розвитку регіону потребувала критичного переосмислення величезного обсягу накопиченого різноманітного

фактичного матеріалу з проведенням додаткових польових робіт. Тому тут були проведені роботи з геологічного довивчення площі масштабу 1:200 000, які виконали в 1993–1998 роках фахівці Львівської ГРЕ під керівництвом В.О. Ващенко.

У 1996–2000 роках проводилася геолого-екологічна зйомка масштабу 1:200 000. Було виконано ландшафтно-функціональне районування за антропогенним впливом, оцінку забруднення важкими металами та радіонуклідами, а також визначено біохімічний стан сільськогосподарської продукції та води. Складено моноелементні карти та карту сумарного показника забруднення [14].

У гідрогеологічному відношенні досліджувана територія вивчена значно слабше. У 1963–1964 роках Львівська ГРЕ проводила комплексну геолого-гідрогеологічну зйомку масштабу 1:200 000, матеріали якої були покладені в основу складеної та виданої гідрогеологічної карти. У 1960–1980-х роках розвідані та захищені в ДКЗ СРСР, ТКЗ УРСР родовища прісних підземних вод для водопостачання м. Львова та районних центрів Львівської області (В.П. Федосєєв, Г.М. Падалко, В.У. Кулик та інші) [2].

Починаючи з 1966 року вивченням екзогенних геологічних процесів (ЕГП) займається Чернівецький загін Львівської ГРЕ, який до 1986 року одним з перших у державі завершив регіональне інженерно-геологічне картування екзогенних геологічних процесів, створив ефективну мережу режимних спостережень і постів для вивчення ЕГП, на жаль, тепер втрачених; перший запропонував програму щодо впровадження інженерно-геологічного моніторингу ЕГП із застосуванням найсучасніших методів, включаючи вивчення динаміки екзогенних процесів за дешифруванням аерофотоматеріалів різних років і практично першим приступив до її здійснення.

Протягом багатьох років Чернівецьким загonom було виконано цілий комплекс досліджень, що дозволило побудувати комплект регіональних карт, які відображають стан геологічного середовища та різні типи господарської діяльності в межах зсуво-, сельо- і карстонебезпечних територій. Паралельно проводилися роботи на стаціонарах для вивчення локальних закономірностей розвитку зсувів,

селей і карсту. Варто зазначити цілий ряд робіт, які проводилися спочатку під керівництвом Радецького Д. М., а потім Рудька Г. І. (Радецький Д. М. та ін., 1978, 1980, 1982 рр., Рудько Г. І. та ін., 1982, 1983, 1986 рр.).

Територія добре вивчена космоаерогеологічними методами. Складено неотектонічні, аерогеологічні, прогнозні та інші спеціалізовані карти різних масштабів. У 1983-1988 роках розроблено методику та успішно проведено дослідно-методичні роботи з вивчення динаміки ЕГП за допомогою аналізу аерофотознімків різних років на інженерно-геологічній основі (Рудько Г. І. та ін., 1986, 1988 рр.). У 1985 році до планомірного вивчення стану геологічного середовища і динаміки його змін за допомогою дешифрування космо- та аерофотоматеріалів приступив загін аерометодів у складі Львівської ГРЕ, а згодом, з 1992 року, у складі Комплексної еколого-геологічної партії. У процесі роботи загону аерометодів відпрацьовано та успішно застосовується методика вивчення стану геологічного середовища і динаміки його змін за допомогою дешифрування космо- та аерофотоматеріалів послідовних часових рядів спочатку на різних за своїми природними особливостями інженерно-геологічних полігонах (Львівський, Подільський), а згодом на всій території діяльності ДГП "Західургеологія". У результаті робіт створено низку спеціалізованих різномасштабних карт стану геологічного середовища, умов та факторів розвитку небезпечних геологічних процесів, динаміки їх змін. Створено цільову та ефективну мережу режимних постів з вивчення ЕГП, вперше запропоновано програму з інженерно-геологічного моніторингу ЕГП із застосуванням сучасних методів досліджень.

Карта інженерно-геологічних умов розвитку ЕГП відображає основні фактори геологічного середовища, що визначають розвиток небезпечних геологічних процесів на сучасному етапі.

Інженерно-геологічна карта динаміки ЕГП відображає інтенсивність розвитку ЕГП за період 1950-1988 рр. в межах інженерно-геологічних ділянок I категорії, з визначенням ступеня антропогенних змін геологічного середовища та, по можливості, аналізом як реального, так і можливого техногенного впливу.

Починаючи з 1978 року, проводилися комплексні спеціалізовані обстеження ЕГП в масштабі 1:200 000 - 1:500 000, на основі яких були складені пообласні карти розвитку ЕГП (зсуви, карст, селі, ерозія) масштабу 1:200 000 для шести областей України (Волинська, Рівненська, Львівська, Тернопільська, Івано-Франківська, Чернівецька) та карта умов розвитку ЕГП на території західних областей України масштабу 1:500 000, з виділенням на геологічній основі зон та ділянок розвитку шкідливих процесів. Завершився суто регіональний етап вивчення ЕГП у 1982 році із створенням комплекту карт масштабу 1:200 000 для Чернівецької, Івано-Франківської, Львівської, Тернопільської областей. Це карти фактичного матеріалу, умов розвитку ЕГП, ураженості території ЕГП, карти народно-господарських об'єктів, які зазнали шкідливої дії ЕГП. Також було складено кадастр зсувів у межах чотирьох областей. Проведено районування території з виділенням основних таксономічних одиниць: регіонів, областей, районів та ділянок переважаючого розвитку ЕГП [30].

Отже, за період з 1974 по 1982 рік було створено базу для формування системи регіональних спостережень, тобто створення регіонального моніторингу геологічного середовища.

Відрізок часу з 1982 по 1993 роки розглядається як період систематизації та узагальнення матеріалів, значного розширення мережі режимних спостережень, вивчення генезису та механізмів окремих процесів із спробами їх моделювання, створення бази даних тощо. Тобто була створена інформативна база для ведення регіонального моніторингу геологічного середовища на визначеному рівні (Рудько Г. І. 1986, 1991, 1993 рр.). Спостереження велось на 34 зсувних, 7 карстових та 8 сельових стаціонарних ділянках. Регіональний режим забезпечувався аеровізуальними спостереженнями та повторними рекогносцирувальними обстеженнями.

Починаючи з 1993 року, регіональні спостереження проводяться з метою середньомасштабного (1:200 000) контролю за розвитком ЕГП на процесонебезпечних територіях [104].

Вивченням галогенних формацій Передкарпаття з 1946 року займалися С. М. Кореневський, М. П. Фівег, Р. Е. Шлеймович, А. А. Іванов, С. С. Корінь, М. Г. Валяшко, А. Є. Ходьков та ін. [12, 17, 48, 51, 57, 118, 120, 121, 135, 136]. Їхні праці заклали основи теперішнього розуміння геологічної будови моласових соленосних відкладів, а також стали основою перших підходів до вивчення карстових процесів у даному регіоні [91].

Вивченням екологічно небезпечної ситуації, що склалася на Домбровському кар'єрі, займаються вчені протягом кількох останніх десятиліть.

Захаровим В. Ф. та ін. у 1959 р. виконана значна робота з вивчення надсольових розсолів Передкарпаття. Ним же у 1964 р. проведена не менш цікава і плідна праця з вирішення гідрогеологічних задач при відкритих розробках калійних солей на Домбровському родовищі [42, 44]. У цих працях В. Ф. Захаровим було запропоновано ряд продуктивних ідей щодо окремих закономірностей проходження та методів стабілізації карстових процесів. Зокрема, він висловив думку про недоцільність осушення надсольових розсолів, натомість запропонував штучно насичувати їх і збільшувати загальну потужність. Також він вказав на неоднорідність у плані та розрізі складу відкладів гіпсо-глинистої шапки (ГГШ); на гідрогеологічний зв'язок водоносних горизонтів у відкладах ГГШ. Крім того, зазначив, що розсоли (не зважаючи на свою високу питому вагу) на окремих ділянках мають здатність підніматись вгору до більш опріснених водоносних горизонтів.

На сучасному етапі досліджень, враховуючи складність та актуальність проблематики розвитку небезпечних еколого-геологічних процесів у Калуському регіоні, багато вчених намагаються дати прогностичну оцінку їх розвитку та дослідити реально існуючу загрозливу ситуацію. Результати геофізичного моніторингу геологічного середовища і прогноз розвитку небезпечних геологічних процесів описано в роботах Кузьменка Е. Д., Багрія С. М., Вдовина О. П., Штогрин М. В., Бучинський В. А та ін. [3-11, 16, 59-71]. Вивченням техногенно порушених соленосних молас Передкарпаття для визначення зон геоекологічного ризику на

техногенно-порушених територіях сольових відкладів, де спостерігаються чи можуть виникнути негативні карстові процеси та пов'язані з ним інші ЕГП, займався Павлюк В. І. [90, 92-97]. Питаннями екологічної безпеки у процесі розробки родовищ калійних солей займалися Манюк В. В., Семчук Я.М. , Рудько Г.І. та ін. [25, 80, 109, 110, 112, 122]. Оцінкою впливу Калуш-Голинського родовища на геологічне середовище, вивченням соленосних порід займалися Гайдін А. М., Дяків В. О., Кицмур І. І. та ін. [20-25, 35-37, 49, 50, 89, 97].

Усі роботи досить цікаві й представляють об'єктивну картину дійсності. Проте детально гідрогелогічну систему Калуш-Голинського родовища калійних солей у зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру ще досі не вивчено та не викладено у жодній роботі.

Для України на поточному етапі розвитку та в її найближчому майбутньому все більше значення матиме проблема закриття гірничих підприємств та трансформації техногенних ландшафтів у природний стан з точки зору технічних, технологічних і економічних умов в контексті розв'язання пріоритетних екологічних проблем. Значна кількість гірничопромислових комплексів уже реалізувала свій економічно доцільний ресурсний резерв корисних копалин або потребує нової методологічної основи для реалізації екологічної безпеки довкілля. Необхідно визначити основні оптимізаційні заходи для керованого контролю за станом довкілля після завершення гірничодобувної діяльності та ліквідації гірничопромислового комплексу шляхом системного підходу до наукового вирішення гірничо-екологічних завдань [105].

Саме це й спонукало авторку детально дослідити гідрогеохімічну та гідрогеологічну обстановку, що виникла в межах родовища, вивчити взаємозв'язок поверхневих та підземних вод та здійснити прогностичний розрахунок сольового забруднення питних підземних і поверхневих вод.

## **1.2. Географо-економічні умови Калуш-Голинського родовища калійних солей.**

Калуш-Голинське родовище в геоморфологічному відношенні розташоване в Прикарпатській низовині, в адміністративному – це Калуський район Івано-Франківської області.

Рельєф району являє собою майже плоску рівнину, яка плавно змінюється на горбисту в південно-західному напрямку.

Абсолютні відмітки поверхні рельєфу змінюються від +285 м (долина р. Лімниці) до +320 м (с. Сівка-Калуська, с. Кропивник). На захід від с. Кадобно абсолютні відмітки збільшуються до +380 м.

На площі протікають ріки Чечва та Млинівка ( в південній частині) і Сівка з потічком Кропивник (в північній частині), з них перші дві є лівими притоками р. Лімниці, а р. Сівка – правою притокою р. Дністер. Живляться ці ріки атмосферними опадами, а також за рахунок вод гравійно-галькового водоносного горизонту.

Клімат району помірно-континентальний, з середньою температурою в січні – 4-5 °С, а в липні 18 °С. Середньорічна кількість атмосферних опадів складає близько 700 мм.

Головними населеними пунктами є місто Калуш та села Кропивник, Сівка-Калуська, Пійло, Голинь, Хотінь. Місто Калуш з'єднане шосейними і залізничними дорогами з містами Івано-Франківськ (30 км), Долина (30 км), Галич (35 км), Львів (140 км). В районі добре розвинута промисловість і сільське господарство.

Джерелом прибуткового і промислового постачання паливом є запаси газу в околицях Калуша та імпорт з сусідніх країн. Електроенергія постачається з Бурштинської теплоелектростанції.

### 1.3. Геологічна характеристика Калуш-Голинського родовища калійної солі.

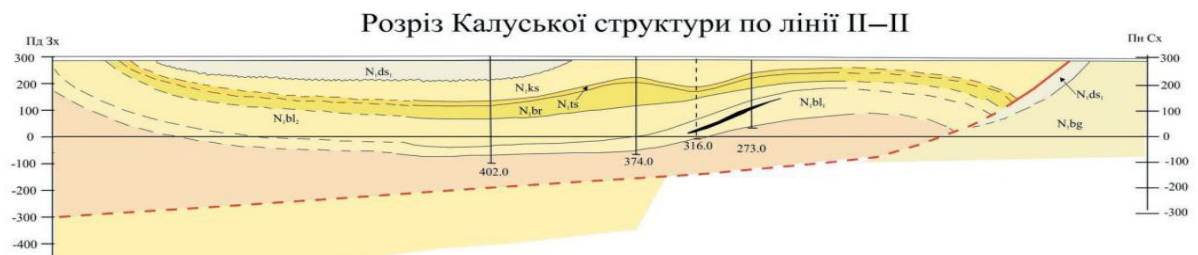
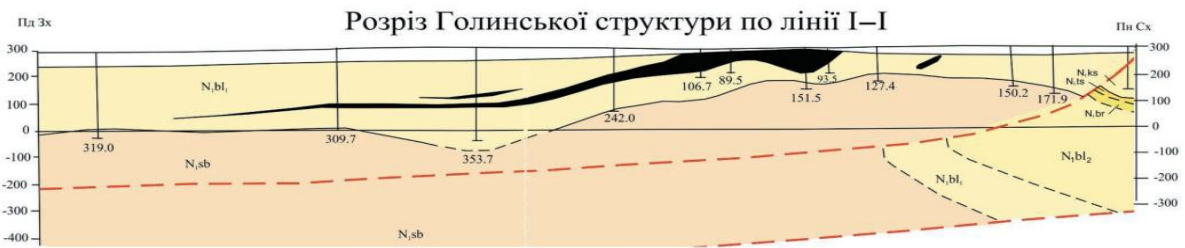
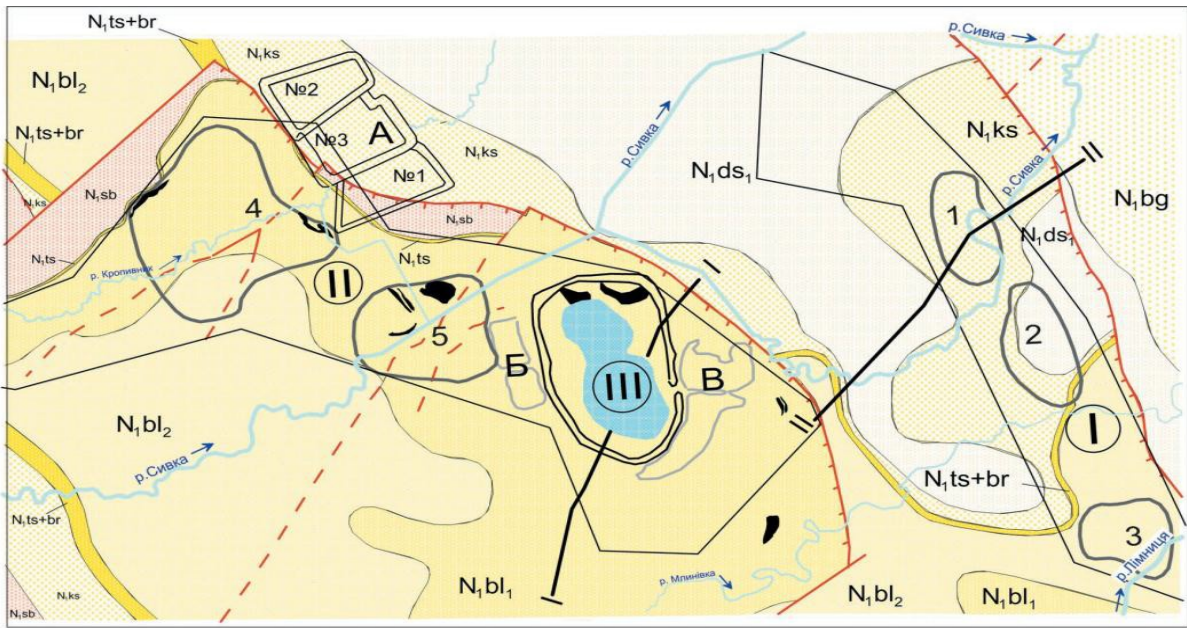
З геологічної точки зору соляні родовища Карпатського регіону розташовані в зоні розповсюдження неогенових евапоритових відкладів у Передкарпатському та Закарпатському прогінах [41, 116, 117].

З 1867 р. почав розвиватися калійний промисел у Калуші. З цього часу в літературі з'являється багато робіт, які присвячені вивченню геології і мінералогії району Калуша. Вивченням геологічної будови рудника «Калуш», в який входять шахтні поля Північне Сільвінітове, Північне Каїнітове, Центральне Каїнітове та Хотинське займались С. М. Кореневський [54, 55], В. П. Телегін [98], Н. М. Джиноридзе [19] та інші [1, 28, 46, 47, 48, 119].

Калуш-Голинське родовище приурочене до Внутрішньої зони Передкарпатського передового прогину. В геологічному розрізі міоценових відкладів Зовнішньої зони виділяють наступні світи (знизу вверху): стебницька, нижньобалицька, верхньобалицька, богородчанська, тираська, косівська і дашавська. В межах шахтних полів рудника «Ново-Голинь» присутні лише стебницька, нижньобалицька і верхньобалицька світи. На денну поверхню виходять відклади нижньобалицької та верхньобалицької світи (рис. 1.1).

Стебницька світа складена різнобарвними породами (сірими, темно-сірими, червоно-бурими). Серед літологічних різновидів переважають глини, часто розсланцьовані, з прошарками пісковиків та алевролітів, а також рідкими прошарками гіпсу та ангідриту. Вище по розрізу залягають відклади нижньобалицької світи, які складені сірими соленосними глинами, глинистими і піщано-глинистими брекчіями, кам'яною сіллю та пластами і лінзами калійних солей. Потужність соленосної товщі змінюється від перших десятків до 400 метрів.

Калійні пласти залягають ярусно, часто перекривають один одного. Кількість рудних покладів в межах рудника «Ново-Голинь» складає 19, з них на крилі «Голинь» – 7 і на крилі «Сівка-Калуська» – 12.



ГЕОЛОГІЧНА СИСТЕМА СЕРЕДНІЙ МІОЦЕН ВЕРХНІЙ	N <sub>1</sub> ,ds <sub>1</sub>	Нижньосарматський підповерх. Нижньодашавська світа. Глини вапнякові, піщанисті; прошарки пісковиків, алевролітів, конгломератів.
	N <sub>1</sub> ,bg	Верхньотортонський підповерх. Бугловський горизонт. Глини піщанисті, прошарки пісковиків.
	N <sub>1</sub> ,ks	Верхньотортонський підповерх. Косівська світа. Глини з прошарками пісковиків, мергелі, туффи.
	N <sub>1</sub> ,ts	Верхньотортонський підповерх. Тираська світа. Гінси, ангідрити, рідко пласти кам'яної солі.
	N <sub>1</sub> ,br	Нижньотортонський підповерх. Богородчанська світа. Мергелі, пісковики, глини, туффи.
	N <sub>1</sub> ,bl <sub>2</sub>	Нижньотортонський підповерх. Верхньобалтицька світа. Перешарування аргілітів, глини, пісковиків, рідко гравелітів, кам'яної солі.
	N <sub>1</sub> ,bl <sub>1</sub>	Нижньотортонський підповерх. Нижньобалтицька світа. Глини, алевроліти, брекчії соленосні, кам'яна і калійна сіль; в основі – горизонт ангідриту з мергелем.
N <sub>1</sub> ,sb	Гельветський поверх. Стебницька світа. Аргіліти з прошарками пісковиків.	



1 – 1 - поклади калійних солей; 2 – лінії насувів; лінії тектонічних поперечних порушень: 3 – встановлені, 4 – передбачувані; 5 – границі стратиграфічних комплексів; 6 – свердловини по розрізах; 7 – лінії геологічних розрізів; гірничі відводи рудників на геологічній схемі: I – рудника “Калуш”, II – рудника «Нова Голінь»

Рис. 1.1. Схема геологічної будови Калуш-Голинського родовища за даними

ДП «Калійний завод» [4]

По простяганню калійні пласти простежуються до 1,5-2,0 км, а по падінню – до 0,5-0,7 км. Потужність їх змінюється від 2-3 м до 30-40 і більше метрів.

Верхньобалицька світа складена строкато колірними (сірими, зеленуватосірими, червонуватобурими) карбонатними глинами, алевролітами, дрібнозернистими пісковиками з прожилками гіпсу та ангідриту. Серед цих порід подекуди зустрічаються прошарки засолених глин і брекчій.

В зоні вивітрювання порід соленосної товщі утворилася гіпсо-глиниста «шапка», яка характеризується сірими, зеленувато-сірими пластичними глинами з гніздами та окремими вкрапленнями гіпсів. Її потужність не є постійною і залежить від літології порід, над якими вона формується. У місцях виходу теригенних порід верхньобалицької світи під четвертинні відклади гіпсо-глиниста «шапка» відсутня. Загальна потужність цих відкладів, у межах рудного поля змінюється від 0,5-1,0 м до 21 метра.

Породи гіпсо-глинистої шапки перекриті четвертинними гравійно-гальковими відкладами та суглинками. Потужність перших становить 3-20 м, а других – 2-8 м. Гравійно-галькові відклади мають площинне розповсюдження і є основним водоносним горизонтом району. Рух підземних вод у водоносному горизонті має напрям регіонального нахилу Калуської рівнини із заходу на схід. Потужні водонапірні глини сарматського і баденського ярусів з прошарками водоносних пісків, пісковиків, вміщують солоні, високомінералізовані, типу розсолів, хлор-магнієві та хлор-кальцієві води. Живлення горизонту відбувається переважно за рахунок атмосферних опадів. Прісні води гравійно-галькових відкладів використовують для питного водопостачання навколишніх сіл. Широке використання цих вод у системі водопостачання вимагає відповідного захисту водоносного горизонту від забруднення. Нижчезалягаючі соленосні та теригенні відклади практично безводні, за винятком окремих розсолопроявів, приурочених до прошарків та лінз тріщинуватих пісковиків. За походженням ці розсоли відносяться до седиментаційних маточників.

Для міоценових відкладів родовища характерна складна геологічна будова, зумовлена тектонічними процесами, що мали місце під час формування Внутрішньої зони прогину. Ці процеси наклали свій відбиток як на формування геологічних структур в цілому, так і на текстурні особливості порід. Так, теригенні відклади розділені на окремі уламки та блоки з численними дзеркалами ковзання. Соленосні породи набули брекчієвидної структури, тріщинуватості. Для калійних пластів характерна складна тектоніка, широкий розвиток ізоклінальних складок. Це призвело до утворення складних за конфігурацією покладів калійних солей, роздувів, пережимів, розривів тощо. У зв'язку з інтенсивною складчастістю виник і різноманітний мінеральний склад калійних порід. Основними породоутворюючими мінералами на родовищі є каїніт, сильвін, лангбейніт. Крім основних мінералів у руді присутні кізерит, ангідрит, полігаліт, карналіт, рідше – гіпс, шеніт, леоніт і епсоміт.

Перелічені геологічні фактори мають безпосередній вплив на фізичний стан порід, що залягають над відпрацьованим простором рудників, а отже, і на стійкість денної поверхні.

#### **1.4. Гідрогеологічні умови регіону досліджень**

Передкарпатська водоносна система (ВС) розміщується вздовж північно-східного краю Карпатської водоносної системи. Границя між цими гідрогеологічними виділеннями проходить по південно-західному контуру моласових утворень воротищенської світи міоцену. На північному сході Передкарпатська ВС межує по контуру поширення відкладів дашавської світи з водоносними горизонтами в платформних відкладах Волино-Подільської ВС (рис. 1.2).

Для гідрогеологічних умов характерна наявність у розрізі корінних, переважно слабопроникних глинистих відкладів, окремих водоносних піщаних і пісковикових прошарків, водоносність яких є низькою. До того ж, приурочені до цих прошарків

води зазвичай вирізняються підвищеною мінералізацією, що унеможлиблює їхнє використання для потреб водопостачання.

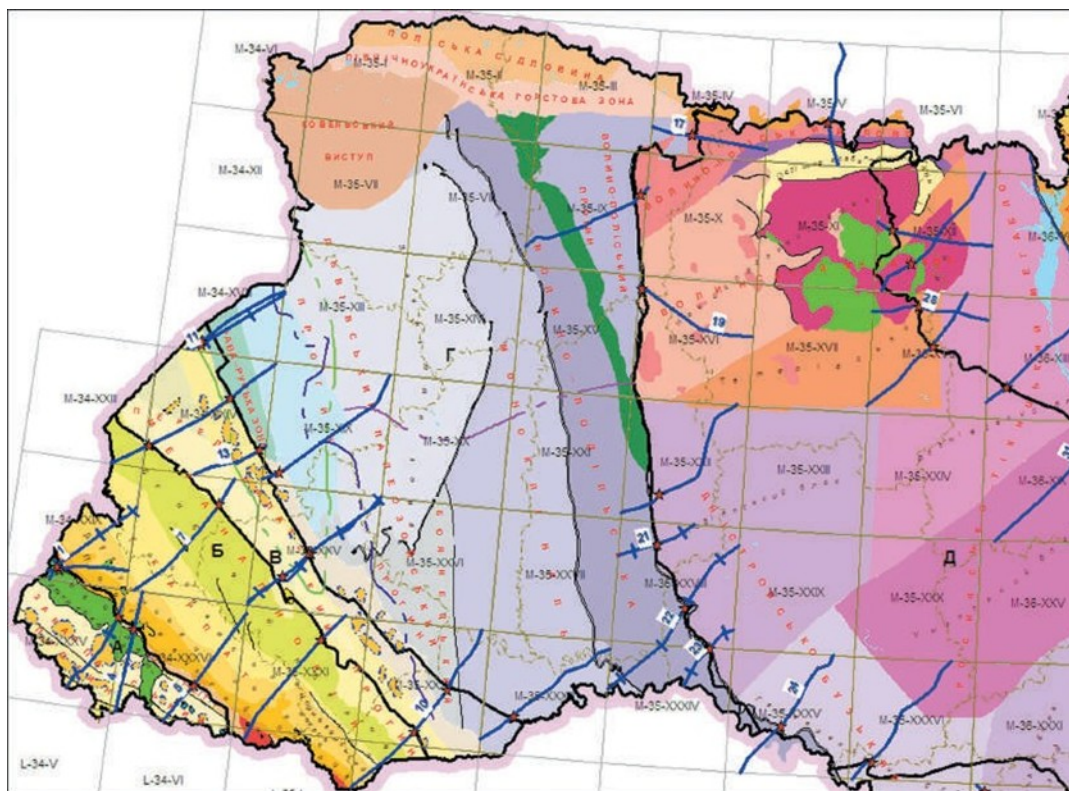


Рис. 1.2. Границі Закарпатської, Карпатської, Передкарпатської, Волино-Подільської ВС [123]

У межах розвитку соленосних відкладів підземні води поширені в зоні вилуговування, яка відоміша під назвою “гіпсо-глиниста шляпа”. У зоні соляного дзеркала цієї “шляпи” формуються високомінералізовані розсоли хлоридного натрієвого складу, які використовують як промислові – для видобутку високоякісної кухонної солі, а також сульфатно-хлоридні магнієво-натрієві унікальні лікувальні розсоли, які широко застосовують для лікування на Моршинському та Трускавецькому курортах.

Придатними для господарсько-питного використання в цьому районі лише підземні води, приурочені до алювіальних пліоцен-четвертинних відкладів. Водонесний горизонт у цих відкладах слугує основним джерелом водопостачання

для багатьох міст Передкарпаття, зокрема Львова, Івано-Франківська, Калуша та ін. [123].

У межах Калуш-Голинського родовища містяться верховодка, гравійно-гальковий водоносний горизонт і води соляного дзеркала. Верховодка приурочена до суглинків і залягає на глибині до двох метрів; для неї характерний непостійний режим, залежний від кліматичних умов. Гравійно-гальковий водоносний горизонт має площинне поширення та активне інфільтраційне живлення і є єдиним у цьому районі горизонтом питної води. Часткове розвантаження його потоку витрачається на поновлення карстових вод по товщі гіпсо-глинистої “шапки” і соленосних відкладів [53].

Водоносні відклади четвертинного віку, що мають практичне значення для водопостачання, представлені делювіальними та алювіальними утвореннями (в районі водозаборів уздовж берегів р. Лімниця).

Давні тераси р. Лімниця (усього їх шість) складаються з алювіальних відкладів. Порооди сучасної та надзаплавних терас поширені по всій території досліджень. За літологією це галечники, піски, супіски, суглинки з перевагою галькового матеріалу у більш молодих відкладах. Значення коефіцієнтів фільтрації для сучасної тераси коливається в межах 5-457 м/добу, при середньому 155 м/добу. Для першої тераси значення Кф коливається в межах 20-30 м/добу, а для третьої тераси 7-10 м/добу. Придатними для пиття є прісні води четвертинних відкладів. Найбільш перспективними є алювіальні відклади сучасного та верхньочетвертинного віку, які є колекторами найбільш потужних водоносних горизонтів [4].

Основним для водопостачання м. Калуш є Добрівлянський водозабір, який знаходиться в декількох кілометрах на південний захід від м. Калуш на лівому березі р. Лімниця. Він налічує 64 свердловини. Експлуатується водоносний горизонт сучасних алювіальних відкладів заплави, що простягається з заходу на схід у вигляді смуги шириною від 0,3 до 0,8 км уздовж течії р. Лімниця. Довжина ряду свердловин водозабору становить 3840 м. Щодо установленого рівня підземних вод переважають глибини 1,0-2,4 м. Потужність водоносної частини горизонту дорівнює

5,4 м. Водонесний горизонт має прямиий гідравлічний зв'язок з рікою і водонесним горизонтом четвертинних відкладів. Граничні умови ділянки водозабору схематизуються як напівобмежений пласт з контуром постійного напору – річка, яка знаходиться на відстані від 2 – 3 до 300 м від ряду свердловин. Водозбір працює в умовах устанавленого режиму фільтрації при зниженнях рівня менше допустимого. Спостережних свердловин для відслідковування депресійної лійки та відповідно радіуса впливу роботи водозабору не існує. Спостереження за рівнями в експлуатаційних свердловинах не ведуться. Відстань від свердловини водозабору до найближчих свердловин режимної спостережної сітки сягає близько 200 м [4].

Специфікою спорудження водозабору є введення в дію підживлюваної траншеї довжиною 3,4 км, шириною 2,5-3 м і глибиною 1,5-2 м. У підживлювальних траншеях застосовано метод самостійної інфільтрації. Джерелом постачання води в траншею є річка Чечва до її впадання в Лімницю. Продуктивність траншеї складає 0,5-0,6 м<sup>3</sup>/с. Ряд водозабірних свердловин знаходиться між підживлювальною траншеєю та Лімницею. Середньорічний розхід Лімниці в роботі водозабору складає 23,5 м<sup>3</sup>/с на добу.

Баланс водопостачання для водозабору є наступним:

50-55 % штучно створені запаси води, що інфільтруються з підживлювальної траншеї;

10-15 % складають природні ресурси водонесного горизонту;

30-35 % – залучені води (р. Лімниця).

Чотири кілометра нижче за течією Лімниці, також на лівому березі, знаходиться напірний Хотінський водозабір, який експлуатується з 1927 року і займає на даний час невелику площу 500×200 метрів. Водозабір розглядається як резервний для подачі технічної води [4].

Основною водною артерією району досліджень є басейн р. Лімниця. Територія басейну складена неогеновими відкладами, які перекриваються четвертинними утвореннями. Водонесний горизонт живиться за рахунок інфільтрації поверхневих

вод (опадів), а також транзиту підземних вод з височин, які знаходяться на північному сході від території.

Зазначені височини та їх схили покриті елювіально-делювіальними відкладами які утворюють малопотужний і малодобітний водоносний горизонт. Напрямок руху підземних вод до основної дрени – ріки Лімниця – контролюється напрямами пониження рельєфу. Карта рівнів побудована за даними вимірів на час літньої межні 2014 року (липень – серпень), тобто після паводку спричиненого літніми дощами (рис. 1.3.).

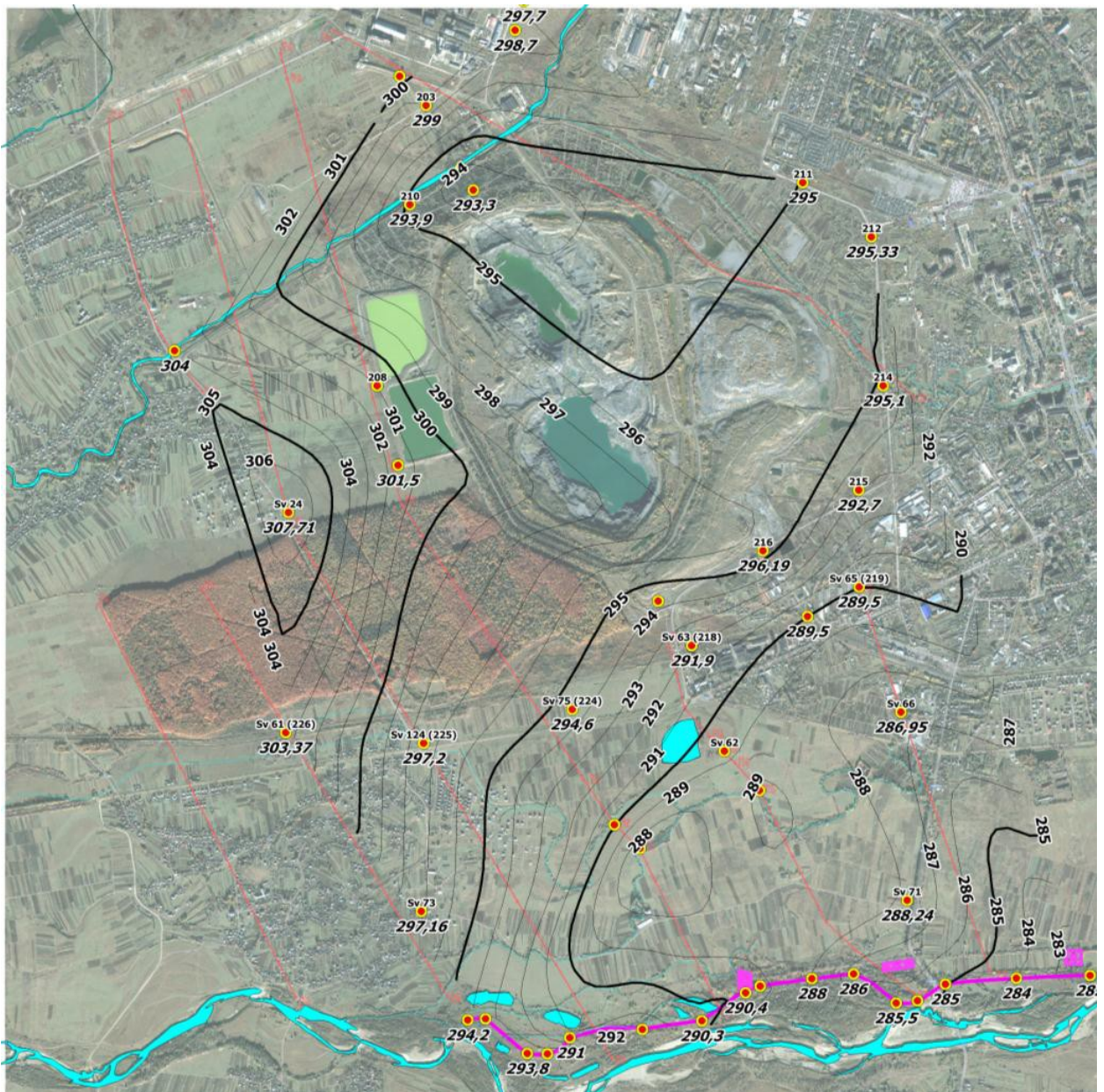


Рис. 1.3. План-схема рівнів підземних вод [4]

Вдовж західного, південного та східного борту кар'єру проходить водозбірна траншея, яка розрізає водоносний горизонт і під час експлуатації кар'єру виконувала задачу перехоплення транзитних підземних вод, прямуючих у кар'єр. У даний час вона замулена, заросла кущами та деревами, вода в ній стояча тому ймовірно, ця траншея на даний час скоріше є бар'єром ніж дренаю. Дренаю фактично є кар'єр зі сторони його північного борту, де водозбірна траншея зруйнована, активно розвиваються карстові процеси та обвали, візуально фіксуються численні витоки в кар'єр. Регіональний потік підземних вод водоносного горизонту спрямований із північного заходу на південний схід. Кар'єр та акумулюючі ємності розділяють його на два – східний та південний. Перший прямує на схід, північніше кар'єру і далі на південний схід. Цей потік оминає Добрівлянський водозабір і прямує до Хотінського водозабору. Другий південний потік оминає кар'єр з південного заходу і далі прямує на схід – південний схід, поволі наближаючись до Лімниці. Потік також оминає Добрівлянський водозабір і поза ним далі ймовірно частково розвантажується у Лімницю [4].

Складна геологічна будова солевмісних відкладів Передкарпаття, формує відповідно складні гідрогеологічні та гідравлічні режими інфільтрації, дренавання та розвантаження підземних вод, які є унікальними за своїм проходженням і потребують окремої методики дослідження. Особливо це стосується водоносного горизонту, який приурочений до відкладів ГГШ, так званого „розсольного” горизонту, який хоч і вважається умовно єдиним на території поширення солевмісних порід, проте характеризується досить відмінними гідравлічними характеристиками на незначних відстанях (до декількох метрів), як у плані так і розрізі. Границя між ним і вище залягаючими, менш концентрованими розсолами є поступовою і умовною. По всій території Передкарпаття, під породами та в межах ГГШ, в зоні «соляного дзеркала», переважно містяться надсольові розсоли. Інфільтраційні води проникаючи до соляного масиву, завдяки високій розчинності солей, дуже швидко насичуються (гранична концентрація розсолів перевищує 300 000 мг/дм<sup>3</sup>) і, втрачаючи свою агресивність, припиняють вилуговування,

формуючи на поверхні корінних порід своєрідний геохімічний бар'єр, вищеназаний «розсольний» горизонт. Однією з його основних характеристик є його висока мінералізація (переважно відбувається насичення по NaCl), а, звідси, і значна питома вага даних розсолів з типовим для Передкарпаття багатокомпонентним складом та з характерною значною концентрацією хлоридів і сульфатів натрію, калію та магнію. Завдяки своїм фізичним властивостям, а, саме, більш високій питомій вазі (до  $1,25 \text{ г/см}^3$ ) по відношенню до прісних вод ( $1 \text{ г/см}^3$ ) та явища сегрегації соляних розчинів, вони є хорошим гідроізолюючим горизонтом між солевмісними відкладами та вищезалягаючими, агресивними до солей, поверхневими водами. При положому заляганні поверхні «соляного дзеркала» більш тривале збереження соляних покладів у верхній гідродинамічній зоні обумовлене тим, що насичені важкі розсоли при малих градієнтах падіння рівня залишаються на поверхні солі в стані відносного спокою, захищаючи її від контакту з агресивною більш легшою водою, що переміщується вище (за градієнта потоку ґрунтових вод до  $0,003$  рух відбувається, але дуже повільно у вигляді ламінарного потоку, не порушуючи цілісність плівки насичених розсолів [41]).

Порушення умов даного геохімічного бар'єру призводить до різкої активізації карстових процесів. Саме тому, збереження стабільності «розсольного» горизонту забезпечує суттєве зменшення інтенсивності процесу карстування соленосних відкладів. При його практичній непорушності вилуговування солей не відбувається. У разі зростання динамічних сил розсолотоків, коли розсоли отримують можливість розвантажуватися чи пришвидшувати свій рух (наприклад, внаслідок тектонічної активності у певний період геологічного часу, особливостей гідрогеологічних умов чи техногенного втручання), на їх місце прибувають ненасичені солями ґрунтові води, які активізують розчинення соленосних відкладів. При збільшенні швидкості потоку надсольових розсолів зростає ймовірність зміни його ламінарного стану на турбулентний, що посилює змішування окремих шарів водоносного горизонту.

Необхідно зауважити, що повноцінним «розсольним» горизонтом в умовах Передкарпаття його назвати складно, оскільки він є вкрай невитриманим як за потужністю, так і за поширенням та хімічним складом. В одних місцях – це лише плівка гранично концентрованого розсолу, в інших – розсоли присутні у більшій кількості. Над відкладами майже чистої кам'яної солі гранична концентрація розчинів, представлених NaCl, становить 310 000-317 000 мг/дм<sup>3</sup>; У місцях, де серед кам'яної солі знаходяться поклади калійно-магнієвих солей, концентрація насиченого розсолу може перевищувати 400 000 мг/дм<sup>3</sup> [115], а склад характеризується більшою різноманітністю присутніх у ньому хімічних елементів.

Рівні підземних вод знаходяться близько до денної поверхні і складають відносно неї в основному від 2 до 5-15м. Води відкладів шапки часто напірні, що свідчить про «часткове» неспівпадання ділянок їх формування та розвантаження, а також наявності водотривких границь поширення таких водоносних систем, що в свою чергу залежить від особливостей геологічної будови ГГШ та «соляного дзеркала». При дослідженнях, які проводилися під час проходження Домбровського кар'єру у Калуші було виявлено, що розсоли гідравлічно пов'язані з алювіальними водами. При пониженні рівня алювіальних вод вони почали підніматися вгору і проникати через породи ГГШ в алювій [41]. Це додатково підтверджує наявність напірних вод, приурочених до відкладів ГГШ, напрям гідродинамічних сил яких може залежати від висоти чи різниці висот гідравлічних стовпів на окремих ділянках. Періодичне підвищення та пониження мінералізації алювіальних вод, яке залежало від гідрологічного режиму поверхневих вод підтверджує це положення. Умови живлення, транзиту та розвантаження розсолів ГГШ є важливим фактором впливу на особливості підземного вилуговування солей та є досить складним та об'ємним об'єктом дослідження, який потребує окремого розгляду.

## **1.5. Загальний огляд наслідків експлуатації Калуш-Голинського родовища калійної солі.**

Видобуток руди та переробний комплекс супроводжувалися негативним впливом на навколишнє середовище.

Порожнини рудників «Калуш» та «Ново-Голинь», які відробили запаси та припинили експлуатацію, не були заповнені твердими матеріалами, які б підтримували в стійкому стані гірничий масив. Натомість вони почали заповнюватися розсолами. Такий метод «закладки» не гарантує надійну роботу підтримуючих гірничих масивів міжкамерних ціликів, внаслідок чого відбувається просідання денної поверхні з її затопленням та утворенням провальних воронок [52].

В місцях просідання денної поверхні відбувається засолення підземних вод за рахунок видавлення їх з видобувних камер при просіданні.

### *Характеристика рудника «Калуш»*

Загальну характеристику даних по експлуатації рудників наведено в таблиці 1.1. [52].

До 1867 року на території родовища добували кухонну сіль методом вилуговування. Розробка калійних солей на Калуш-Голинському родовищі почалась з 1867 року. Експлуатація рудника була припинена у 1978 році. Видобуток каїнітових і сильвінітових руд здійснювався камерною системою розробки на відокремлених один від одного виїмкових ділянках: Північному сильвінітовому, Північному і Центральному каїнітових, та Хотінському полях.

На даному етапі поверхня рудних полів ліквідованої шахти «Калуш» перебуває в стані трансформації внаслідок процесів зрушення земної поверхні, ускладнених карстово-провальними явищами.

Таблиця 1.1.

## Загальна характеристика експлуатаційних характеристик рудників

Рудник	Рудне поле, ділянка	Термін експлуатації, рр	Глибина видобування руди, м	Об'єм пустої, тис. м <sup>3</sup>	Заповнення простору		Незаповнений об'єм, тис.м <sup>3</sup>
					спосіб	об'єм, тис. м <sup>3</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8
«Калуш»	Північне сільвінітове поле	1943-1962	160-440	1890	«сухий», відходами збагачувальної фабрики, гідрозакладка	780	30
	Північне каїнітове поле	1940-1943 1956-1975	100-260	1325,5	розсоли Домбровського кар'єру	1011	-
	Центральне каїнітове поле	1867-1979	60-250	2116	гідрозакладка	2116	-
	Хотінське сільвінітове поле	1961-1975	140-270	948	«сухий»	125	823
«Ново-Голинь»	Східна Голинь	1966-1995	70-260	6863	розсоли Домбровського кар'єру та хвостосховище №2	12200	12200
	Сівка-Калуська	1966-1995	70-260	5295	розсоли Домбровського кар'єру та хвостосховище №2		
«Голинь»		1930-1972	70-260	1700	Не заповнювались		1700

### Північне сільвінітове поле.

Північне сільвінітове поле експлуатувалося в період 1943-1962 років на глибині 160-440 м. Вище VI горизонту відпрацьовані камери закладені «сухою» закладкою, нижче – відходами збагачувальної фабрики. Гідрозакладка, в об'ємі 780 тис.м<sup>3</sup>, проводилась у 1954-1958 роках та в 1962-1966 роках. На час ліквідації рудника утворено 1890 тис.м<sup>3</sup> пустот, з яких не закладено близько 30 тис.м<sup>3</sup>. З 1957 року на ділянці Північного сільвінітового поля почалося інтенсивне осідання земної поверхні. В 1960 році, коли накопичене осідання досягло 800 мм, з'явилося невелике озеро в центрі мульди зсуву, станом на 2013 р. площа його сягала 30 га. Міжкамерні цілики зруйновані і проходить їх ущільнення. Максимальна швидкість по незатопленим реперам становила 3-5 мм/рік, в центрі мульди зсуву – біля 15 мм/рік. Процес зсуву над полем станом на 2013 р. знаходився на стадії затухання. Житлових будинків і промислових споруд на ділянці не було [52].

### Північне каїнітове поле

Північне каїнітове поле експлуатувалося в 1940-1943 роках і 1956-1975 роках на глибині 100-260 м. Вище VI горизонту була організована ділянка гідрозакладки, але у зв'язку з проривами розсолів на нижні горизонти, закладку було припинено. З лютого 1989 року по червень 1990 року проводилося кероване заповнення виробок поля недонасиченими розсолами хвостосховища Домбровського кар'єру. Процес зсуву над полем перебував на початковій стадії і був зумовлений двома причинами: деформацією міжкамерних ціликів під дією ваги налягаючої товщі, що проявлялася в повному осіданні земної поверхні над виробками і в прилеглій зоні впливу гірничих робіт, а також карстово-суфозійними процесами, які почали проявлятися з 1984 року у вигляді утворення провалів на земній поверхні. Провал №4, що виник над луговнею, став каналом гідродинамічного зв'язку між нижчезалягаючим водоносним горизонтом і гірничими виробками. Це спричинило прорив розсолів у рудник, що викликало формування карстових пустот у відкладах соленосної товщі та утворення провалів на земній поверхні. Поява провалу №5 не викликала збільшення швидкості осідання в цьому районі, але стала другим джерелом

поступлення прісних вод у відпрацьований простір, що, з часом, спричинило раптове просідання земної поверхні площею 200×180 м і глибиною 8,5 м у 1987 році через розмив і розчинення порід міжкамерних ціликів. У межах мульди і вздовж її границь спостерігалися численні тріщини довжиною до 10 м, шириною від кількох мм до 1-2 м. Центральна частина мульди була затоплена водою. Одночасно з раптовим осіданням виник провал №7, який ускладнив ситуацію на Північному каїнітовому полі. Таким чином, до початку регульованого затоплення в пустотах Північного каїнітового поля накопичилось близько 180-200 тис.м<sup>3</sup> розсолів, з притоком – 100 м<sup>3</sup>/добу [52].

Внаслідок карстово-суфозійних процесів, що відбувалися протягом 1984-2012 років, над полем утворилося 13 провалів діаметром до 30 м і глибиною до 25 м. У цих провалах формувалися озера, які згодом засипалися. Під час утворення провалів розсоли шахтних виробок з концентрацією до 400 000 мг/дм<sup>3</sup> розвантажуються у поверхневі та підземні води. Над Північним каїнітовим полем, де осідання станом на 2013 р. знаходилося у початковій стадії, відомо 3 просадкові мульди. У зоні впливу гірничих робіт знаходяться житлові будинки, різні споруди (водопровід, теплотраса, каналізація та ін.). Загалом над полем очікується формування кількох озер з глибинами до 8 м. Подібні перебудови рельєфу призводять до руйнування будинків та споруд, що знаходяться у межах граничного куту зсуву [52].

### Центральне поле

Центральне поле почали розробляти більше 100 років тому, на глибині 60-250 м. Воно включало в себе 10 камер вилуговування та 11 лінз, 9 з яких відпрацьовано в 1920-1943 рр. У зв'язку з відставанням закладочних робіт і незначного запасу міцності міжкамерних ціликів на старих ділянках, осідання земної поверхні знаходиться на стадії затухання.

Над Центральним полем, окрім деформації міжкамерних ціликів, спостерігалися карстово-суфозійні явища, в результаті чого на земній поверхні з'явилися провали. Перший утворився у 1975 році, а останній у 1997 році, станом на

2012 рік їх кількість – 6.

Основний канал надходження гравійно-галькових вод у виробки, за даними Науково-дослідного інституту Галургія (НДІГ), розташовується у районі провалів 1 і 2, де фіксувалося інтенсивне обвалювання порід покрівлі та циркуляція вод-розсолів. Інший канал руху вод був приурочений до лежачого боку Центральної каїнітової лінзи, що є дуже небезпечним, оскільки його джерело розташовувалося поблизу тальвегу р. Сівка. За даними НДІГ, порожнини всього рудника «Калуш», могли б затопитись водами галькового горизонту протягом 50-100 років. Якщо б стався безпосередній прорив вод річки Сівка в рудник Калуш, це могло б статися за 1-1,5 місяці [52].

Небезпека прориву вод р. Сівка стала реальною в 1980 році, коли на її березі в прирусловій частині утворився провал №3 розміром 6,5×4,5 м і глибиною близько 4 м. У 1985 році після утворення наскрізних провалів 4а і 4б у руслі річки, виникла критична ситуація, що могла призвести до катастрофічного некерованого природного затоплення рудника «Калуш». Упродовж 1975-1980 років приплив прісних вод у виробки збільшився з 50 до 200 м<sup>3</sup>/добу і залишався стабільним до затоплення.

Із березня 1988 року по липень 1990 року здійснювалося кероване заповнення виробленого простору донасиченими розсолами Домбровського кар'єру.

Ситуація над Центральним каїнітовим полем менш напружена, оскільки довоєнні виробки були закладені, а осідання над ними знаходяться на стадії затухання. Проте залишаються небезпечними наступні фактори: розвиток провальньо-карстових процесів на промисловому майданчику рудника поблизу ліквідованого стовбура №6, де фіксувалося провалоутворення з 1970 року; осідання земної поверхні в районі ліквідованих стовбурів №4 і №7; формування мульди над відпрацьованими лінзами Верхньої сільвініт-каїнітової та Нижньої каїнітової; осідання земної поверхні, зумовлене подальшим ущільненням ціликів і закладки у видобувних камерах довоєнної розробки.

Очікується певна активізація зсувних процесів на південному та південно-

східному схилах Войнилівських висот. У перспективі тут прогнозується максимальне осідання земної поверхні до 7 м. Крім того, територія центральних полів характеризується високою насиченістю лінійними (штреки, похилі) та старими гірничими виробками. Часто місцезнаходження останніх ймовірно маркується локальними дрібномасштабними мульдами просідання. У деяких випадках саме цим можна пояснити орієнтовані тріщини відриву у стінах прилеглих будинків [52].

### Хотінське сильвінітове поле

Хотінське сильвінітове поле відпрацьоване у 1961-1975 роках на глибині 140-270 м. Потужність у центрі досягала 22 м і виклинювалася до 2,5 м по краях лінзи. Об'єм відпрацьованих пустот становив 947 тис. м<sup>3</sup>, з яких частково (близько 25%) був закладений породами, отриманими при проходці гірничих виробок. Середній запас міцності міжкамерних ціликів є менший за довготривалий, що зумовлює інтенсивний характер процесів зсуву земної поверхні над полем. З 1963 р. фіксувалося осідання зі швидкістю 1 мм/рік. Швидкість постійно зростала по всім реперам, і максимального значення досягла в 1972 р. – 211 мм/рік. Після цього спостерігалось поступове зниження швидкості осідання. Максимальна швидкість осідання в 2004 році складала 17-18 мм/рік, максимальне накопичене осідання на 17.11.2004 р. склало 2753 мм (центр мульди зсуву), максимально очікуване – 7400 мм. Між р. Лімницею та стовбуром «Хотінь» сформувалося озеро у просадовій мульдї субмеридіонального простягання площею 2 га (очікувана площа – 47,2 га).

Над відпрацьованими виробками та в зоні їхнього впливу розташоване селище Хотінь, забудоване одно- і двоповерховими житловими будинками та іншими спорудами. У зв'язку із заболоченням та підтопленням земної поверхні в центральній частині мульди, відкритим акціонерним товариством (ВАТ) «Оріана» проведено відселення мешканців 26 будинків, всього в зону впливу потрапляло 109 будинків. Процес зсуву над полем знаходилося в стадії затухання. Водночас зберігається ризик прориву вод р. Лімниця у відпрацьований простір, який не був ліквідований, що може призвести до катастрофічних наслідків за аналогією з

ситуацією на Північному каїнітовому полі [52].

### Характеристика рудника «Ново-Голинь»

Рудник «Ново-Голинь» розташований на схід від м. Калуш та складається з двох рудних полів, які були відпрацьовані у 1966-1995 роках. Поле «Східна-Голинь» розташоване на північно-західній околиці с. Кропивник, об'єм пустот 6563,1 тис.м<sup>3</sup>. Поле «Сівка-Калуська» розташоване на північно-східній околиці однойменного села, з об'ємом пустот 5294,5 тис.м<sup>3</sup>. Система розробки – камерна із залишенням стрічкових ціликів. Залежно від кута падіння та потужності пласта, довжина камер складала від 10 до 100 м, ширина від 10 до 13 м, висота від 2 до 40 м, ширина міжкамерних ціликів від 10 до 12 м.

Усього на руднику «Ново-Голинь» налічувалось 12 158,5 тис. м<sup>3</sup> пустот, які ліквідовуються згідно з проектом, розробленим інститутом «Гірхімпром». У проекті передбачено гідрозакладку галітовими відходами фабрики ділянок, де очікується максимальне осідання земної поверхні з можливим порушенням суцільності покривних порід, та заливку решти порожнин пульпою з мулових та сольових відходів хімічної фабрики або розсолами. Термін ліквідаційних робіт становить близько 20 років. На будівництво закладеного комплексу передбачалось не менше трьох років. З метою пришвидшення робіт визнано доцільним заповнення пустот камер IV горизонту розсолами та гірничо-сольовим шламом. Із березня 1996 р. розпочато заливку виробок розсолами Домбровського кар'єру з акумулюючих ємностей, розсолами хвостосховища №2 та мулово-сольовим шламом від переробки калійної руди. Співвідношення твердої та рідкої фази становило 1:1. Наразі закачку завершено, загальний об'єм склав 12 200 тис. м<sup>3</sup> розсолів.

Ділянка «Західна Голинь» законсервована аналогічно ділянці Хотінь.

Зрушення земної поверхні над рудником фіксуються з 1979 р. Просадкові процеси над виробленими полями спричиняють формування мульд, у яких спостерігається заболочування та утворення озер. Над Східним полем Голині утворилися локальні мульди зі швидкістю осідання до 10-11 мм/рік і максимальним

просіданням до 1 м, що призвело до підтоплення поверхні. Загалом очікується заболочення 105 га з утворенням озер площею 23 га. Максимальне глибина просідання може сягнути 28 м. У разі розвитку провальо-карстових процесів за аналогією з рудником «Калуш» існує висока ймовірність засолення поверхневих і підземних вод. За прогнозами, до зони мульди зсуву наприкінці процесу потраплятимуть 257 житлових будинків, залізниця та промислові об'єкти рудника «Ново-Голинь», з яких 168 будинків буде підтоплено.

На ділянці «Сівка-Калуська» просідання фіксуються з 1989 року зі швидкістю до 11 мм/рік, що супроводжується формуванням двох локальних мульд. За прогнозами, внаслідок подальших просадкових процесів сформується складна за формою мульда з можливим підтопленням території площею близько 115 га. У її центральній частині сформується складне за контуром озеро площею 57 га. Максимальна глибина просідання, ймовірно, сягне 19,5 м. Як і в попередньому випадку, у контур майбутньої водойми потрапляє русло річки Сівка, яка, ймовірно, відіграватиме важливу роль у її формуванні. У разі розвитку карстово-провальних процесів очікується взаємодія розсолів шахтних виробок із поверхневими і підземними водотоками. Це може призвести до початку техногенного засолення річки Сівка, що протікає через центральну частину м. Калуш і в подальшому буде постійно збагачуватись солями. У межах прогнозованої просадкової мульди поля «Сівка-Калуська» опиняться 268 жилих будинків із школою, з них 104 будинки будуть підтоплені.

Фактично гідрозакладка пустот не була виконана. З урахуванням наступних факторів:

- 1) Наявність видобувних камер висотою до 80 м на здвоєних пластах;
- 2) Існування зон, де теригенні породи (N<sub>1</sub>b<sub>12</sub>) виходять під четвертинні відклади, представлені розсланцьованими глинами (мидлярками), схильними до самовипалювання;
- 3) Відхилення фактичного складу розсолу від проєктного – слід очікувати активізації просадкових процесів, що може привести до розриву

суцільності водозахисної стелини з подальшим витісненням великої маси розсолів із підземних порожнин у водоносні горизонти. У результаті можливе забруднення підземних вод на значних територіях та втрата значної частини житлового фонду в селищах Кропивник і Сівка-Калуська [52].

### Домбровський кар'єр

Домбровський кар'єр експлуатується з 1967 року. Роботи в кар'єрі виконувались транспортною системою розробки: розкривні породи транспортувалися автосамоскидами на зовнішні та внутрішні відвали, а руда — до дробарного цеху. Розпушення породи та скельних розкривних порід здійснювалося буро-вибуховим способом.

Рихлі розкривні породи розроблялися чотирма уступами висотою до 10 м з організацією селективної виїмки: ґрунтово-рослинного шару, суглинків, галечників, ГГШ. Скельні розкривні породи та рудний поклад — уступами висотою до 15 м.

За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру видобуто 35,4 млн. м<sup>3</sup> розкривних порід і 14,7 млн. м<sup>3</sup> калійної руди, загалом — 50,1 млн. м<sup>3</sup> гірничої маси. Експлуатацію припинено в 2007 році. У даний час кар'єр затоплюється природним способом.

Розробка здійснювалась двома ділянками: північною та південною. Станом на 2013 р. південна і північна частина були заповнені розсолами в кількості понад 26 млн. м<sup>3</sup>. Розсоли Південної і Північної частини з'єдналися.

Механізм утворення соляних розсолів у Домбровському кар'єрі є результатом взаємодії атмосферних опадів з соленосними породами, його об'єм залежить від кількості опадів та площі водозбору.

До 2008 року об'єм води, що поступав у кар'єр, перехоплювався дренажною траншеєю та частково відкачувався з кар'єру. З 2008 року відкачка з дренажної траншеї та з кар'єру була припинена.

Тобто, у 2008 році майже вдвічі збільшилась площа водозбору атмосферних опадів за рахунок зовнішніх відвалів №1 і №4 та внутрішньокар'єрної смуги, прилеглої до внутрішнього борту КДТ. Близько 10 років тому площа водозбору

атмосферних опадів становила 360-380 га. З урахуванням середньорічної кількості опадів 700 мм, поступлення води в кар'єр тільки за рахунок атмосферних опадів становила 1,1-1,2 млн. м<sup>3</sup> в рік. Крім цього з припиненням відкачки дренажних вод у зовнішні водойми весь приток води з гравійно-галькового водоносного горизонту (2 млн. м<sup>3</sup>) спрямований в кар'єр.

Таким чином, загальний щорічний приток води у кар'єр складає 3,1-3,2 млн. м<sup>3</sup>.

По зовнішньому борту дренажної траншеї в північно-західній частині Домбровського кар'єру почав утворюватися карст, що має тенденцію до розвитку в сторону р. Сівки, що створює можливість прориву вод р. Сівка в кар'єр.

У межах Домбровського кар'єру та його флангів геологічний розріз є порівняно витриманим. Породи, що залягають зверху вниз, представлені наступним чином: ґрунтово-рослинний шар потужністю до 1-2 м, далі — суглинки з включенням глин і пісків потужністю 3-5 м. Нижче залягає водоносний горизонт гравійно-галькових відкладів з домішками піску (потужність 10-15 м). Під цим горизонтом знаходиться гіпсо-глиниста «шапка», яка утворилася у верхніх шарах соляних порід (засолених глин) шляхом вивітрювання. Породи ГГШ засолені, мають потужність 1,5-10 м і вважаються водоупором, що захищає соляні породи від розмиву. Зменшення їх потужності до перших метрів є аномальним явищем. Під ГГШ знаходяться пласти кам'яної солі з вмістом NaCl у середньому 74 %, тому ці породи часто називають засоленими глинами. Їх потужність — декілька перших метрів. Нижче залягають пласти калійної солі.

При наявності дренажної траншеї підземні води гравійно-галькового горизонту, дренуючись нею, стікали у водозбірники та відкачувалися у річкову мережу. Об'єм відкачуваної води варіювався в залежності від кількості опадів і становив 1,5-2 млн. м<sup>3</sup> за рік. При будівництві траншеї для створення необхідного нахилу частину ГГШ було зрізано, а в деяких місцях підсипано. Крім водовідведення, дренажна траншея захищала від розвитку карсту.

На початку 90-х років траншея була знищена для того, щоб розширити кар'єр на північ. Це було помилкою, оскільки під час «вибухово-вскривних» робіт

малопотужна ГГШ, що прилягала до північного борту, була порушена. Саме на півночі, на відстані 150-200 м від нинішнього борту кар'єру, протікає р. Сівка в штучному руслі. Штучне русло створено в суглинках, що мають глибину до 2-3 м. Незначний шар суглинків, що залишався в штучному руслі, не створював надійного захисту, тому вода р. Сівка в певному об'ємі (цей об'єм невідомий) потрапляла у водоносний гравійно-гальковий горизонт і, разом з дощовими інфільтрованими водами, прямувала в кар'єр – по покрівлі ГГШ. Однак ця «шапка» мала незначну потужність і була пошкоджена, тому вода проникала до заглинених пластів кам'яної, а далі калійної солі, і легко розмивала їх. Так само вона розмиває ці пласти в похилих бортах кар'єру [52].

Зазначені процеси призвели до утворення воронок у краєвих ділянках кар'єру та обвалів породи в окремих місцях біля північного борту. Оскільки процес карстоутворення безперервний, а пласти солі поширюються далі на північ, слід вважати, що карсто-провальні явища будуть розвиватись далі на північ, пошкоджуючи або знищуючи дачні ділянки, а згодом можуть досягти р. Сівки. Прогнозується, що ця річка ніколи не піде під землею до кар'єру. Під час розмиву солі будуть просідати породи водоносного горизонту, суглинків, ґрунтово-рослинного шару. Тому існує загроза створення нового русла р. Сівки, яке з'єднає теперішнє русло з кар'єром. Перевищення денної поверхні між кар'єром і річкою по висоті над руслом р. Сівка складає максимум 2,5-3 м.

Слід відмітити, що кар'єр заливається дощами і підземними водами зі швидкістю приблизно 3,1-3,2 млн. м<sup>3</sup> на рік. Вода «підпирає» водоносний горизонт, солі в бортах кар'єру продовжують розчинятися.

### **1.5.1. Динаміка засолення гравійно-галькового водоносного горизонту питних вод.**

Джерелами засолення підземних вод є в основному хвостосховища, дамби, які є нестійкими, а також хвостовідвали та зони мульд просідання, в яких утворилися солені озера. Для відслідковування ореолу засолення, а також для визначення

ступеня мінералізації підземних вод у 2012 р. використовувалися спостережні свердловини, обладнані фільтрами на перший водоносний горизонт [52]. Це – горизонт галькових відкладів, що залягає на глибині від 6 до 23 м і має потужність від кількох до 15 метрів. Цей горизонт, по-перше, є джерелом питних вод для навколишніх селищ Калуської гірничо-міської агломерації, а по-друге, є горизонтом транзиту засолених вод. Кількісної оцінки швидкості поширення ореолу засолення підземних вод не проводилось внаслідок недостатньо щільної сітки спостережень. У 2006-2007 рр. пробурено додатково 14 свердловин.

Станом на 2013 р. визначений ареал соляного забруднення, який простежується від хвостосховищ №1 і №2, через Домбровський кар'єр до траси Долина-Івано-Франківськ.

Загальна площа ареалу засолення складала понад 900 га.

Мінералізація підземних вод в межах ареалу змінювалася від 1 180 мг/дм<sup>3</sup> до 28 080 мг/дм<sup>3</sup>.

У районі хвостосховищ та біля підніжжя відвалів концентрація солей у воді значно вища.

Незначний за площею ареал сформувався на схід від хвостосховища №1 по старому руслу потоку Кропивник, площа якого складала приблизно 30 га.

На Північному каїнітовому та Центральному каїнітовому полях рудника «Калуш» виявлено та оконтурено два ареали засолення підземних вод. Загальна площа яких складала 53 га. Мінералізація вод в межах ареалів змінюється від 1 800-10 000 мг/дм<sup>3</sup> до 36 000-60 000 мг/дм<sup>3</sup>.

Оцінка забруднення стосується рудника «Калуш». Основна небезпека забруднення підземних вод полягає в тому, що це забруднення може досягти водозабору м. Калуш на р. Лімниця. Додаткова небезпека може виникнути при повному затопленні рудника «Ново-Голинь» [52].

## 1.6. Висновки до розділу

У розділі наведена характеристика геолого-гідрогеологічної вивченості регіону досліджень, описана геологічна будова, гідрогеологічні умови та оцінка наслідків експлуатації Калуш-Голинського родовища калійних солей.

В Україні калійні родовища пов'язані з неогеновою галогенною формацією Передкарпатського краєвого прогину. Найбільші з них – Стебницьке, Калуш-Голинське та Солотвинське родовища.

Визначено, що для міоценових відкладів Калуш-Голинського родовища характерна складна геологічна будова, зумовлена тектонічними процесами, що мали місце при формуванні Внутрішньої зони прогину. Для калійних пластів характерна складна тектоніка та широкий розвиток ізоклінальних складок. Це призвело до утворення складних за конфігурацією покладів калійних солей, роздувів, пережимів, розривів тощо. У зв'язку з інтенсивною складчастістю виник різноманітний мінеральний склад калійних порід. Основними породоутворюючими мінералами на родовищі є каїніт, сильвін, лангбейніт. Крім основних мінералів у руді присутні кізерит, ангідрит, полігаліт, карналіт, рідше гіпс, шеніт, леоніт і епсоміт.

Досліджено з літературних джерел гідрогеологічні умови Калуш-Голинського родовища. В його межах містяться верховодка, гравійно-гальковий водоносний горизонт і води соляного дзеркала. У зоні вивітрювання порід соленосної товщі утворилась гіпсо-глиниста «шапка», яка характеризується сірими, зеленувато-сірими пластичними глинами з гніздами та окремими вкрапленнями гіпсів. Її потужність не є постійною і залежить від літології порід, над якими вона формується. Породи ГГШ перекриті четвертинними гравійно-гальковими відкладами та суглинками. Потужність перших складає 3-20 м, а других – 2-8 м. Гравійно-галькові відклади мають площинне розповсюдження і є основним водоносним горизонтом району.

Основною водною артерією району досліджень є басейн р. Лімниця. Територія басейну складена неогеновими відкладами, які перекриваються четвертинними утвореннями. Гравійно-гальковий водоносний горизонт, що є основним горизонтом

питної води в дослідженому регіоні, живиться за рахунок інфільтрації поверхневих вод (опадів), а також транзиту підземних вод із височин, розташованих на північному сході від території. Зазначені височини та їхні схили покриті елювіально-делювіальними відкладами, які утворюють малопотужний і малодебітний водоносний горизонт. Напрямок руху підземних вод до основної дрени – ріки Лімниця – визначається напрямками пониження рельєфу.

У розділі подано загальну характеристику Калуш-Голинського родовища (рудник «Калуш», Північне сильвінітове поле, Північне каїнітове поле, Центральне поле, Хотінське сильвінітове поле, рудник «Ново-Голинь» та Домбровський кар'єр). Унаслідок експлуатації родовища виникли численні карсто-провальні процеси, активізація просадкових явищ, підтоплення жилих масивів, забруднення підземних вод тощо, що в сукупності створює загрозову екологічну ситуацію. Джерелами засолення підземних вод є високомінералізовані води хвостосховищ, нестійкі дамби, а також хвостовідвали та зони мульд просідання, в яких утворилися солоні озера. Додаткову загрозу становить ймовірний витік розсолів із Домбровського кар'єру.

Основна небезпека забруднення підземних вод полягає в тому, що воно може досягти водозабору м. Калуш на р. Лімниця.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Серед існуючих в Україні технологій розробки родовищ корисних копалин найбільш руйнівний вплив на природну рівновагу надр і екологічний стан геологічного середовища має розробка родовищ солей у Карпатському регіоні. Специфікою використання надр у межах цих родовищ є порушення гідрогеофільтраційної ізолюваності соляних тіл, розвиток карстових процесів унаслідок утворення порожнин у породному масиві та порушення геомеханічної рівноваги солевміщуючих порід. Це призводить до руйнування міжкамерних ціликів, стелин камер, утворення зрушень земної поверхні, провальних і карстових воронок, забруднення підземних вод.

Впродовж останнього десятиріччя негативний вплив розробки та екологічно недосконалої ліквідації гірничодобувних підприємств Карпатського регіону перетворився на чинник виникнення транскордонних надзвичайних ситуацій у басейнах річок Дністер та Тиса. Карпатський регіон є єдиним басейном України, де розвідано значні поклади калійних і кам'яних солей: Калуське (Івано-Франківська обл.), Стебницьке (Львівська обл.) та Солотвинське (Закарпатська обл.) родовища. За різноманітністю та співвідношенням присутніх тут соляних мінералів ці відклади є унікальними й не мають аналогів у світі.

До 2000 року переробка калійно-магнієвих руд дозволяла не лише повністю забезпечувати потреби України в комплексних сульфатних калійно-магнієвих добривах, а й експортувати їх на зовнішні ринки. Сульфатний характер калійно-магнієвих покладів, з одного боку, робить їх привабливими для виробництва добрив, але з іншого – ускладнює процес переробки через розмаїття соляних мінералів у руді, що різняться своїми властивостями. Технологічні схеми, які використовувалися ранніше, не дозволяли повною мірою вилучити корисні компоненти з видобутої рудної сировини, внаслідок чого значна кількість солей потрапляла у відходи й, відповідно, розсіювалася в гідросфері.

Ще однією особливістю калійних сольових порід Прикарпаття є значна кількість (у середньому 15%) нерозчинного залишку, складеного теригенними, переважно глинистими мінералами. Його надходження разом із солерудною сировиною на поверхню та в шламосховища призводить до формування ділянок забруднення ландшафтів, поверхневих і підземних вод та комплексних змін навколишнього природного середовища.

Однією з причин, що призвели до руйнації калійної промисловості, є не ефективне вирішення екологічних проблем надрокористування, які виникли в процесі недосконалих технологій консервації та ліквідації гірничодобувного і переробного комплексу (збільшення площі гірничих робіт, вилучення солей і порід, втрата фільтраційної ізольованості гірничого простору). При видобутку руди на рудниках Калуша утворилося 17,5 млн. м<sup>3</sup> пустот. На родовищах спостерігаються прориви до солепородного масиву прісних (агресивних) вод із поверхні, що призводить до порушення рівноваги надр з утворенням провальних воронок, карстових порожнин і деградації джерел господарсько-питного водопостачання. Про ризик карсто-провальних процесів може свідчити провалоутворення над рудником Калуш на вулиці Вітовського у 1987 році з супутнім землетрусом силою 4 бали.

Надзвичайна ситуація на території родовища кам'яної солі в смт Солотвине проявилася в затопленні трьох діючих соляних шахт і утворенні величезних провалів на земній поверхні. Довготривала експлуатація покладів калійної солі на Стебницькому калійному родовищі камерним способом призвела до утворення штучних порожнин загальним об'ємом близько 13,5 млн. м<sup>3</sup>. Експлуатація рудників призвела до витоків розсолів у камери й до активізації карстових процесів, що супроводжується просіданням земної поверхні та утворенням на ній провалів. Зазначена деформація земної поверхні призводить до виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із загрозою небезпеки експлуатації об'єктів критичної інфраструктури та житлових споруд. У 1983 р. унаслідок прориву дамби шламoxвостосховища та витоків близько 5 млн м<sup>3</sup> високомінералізованих розсолів у

р. Дністер за санітарно-гігієнічними показниками було тимчасово припинено питне водопостачання м. Одеса.

Видобування калійних солей у Передкарпатському прогині Калуш-Голинського родовища призвело до низки екологічних проблем, висвітлених у працях автора [72, 75, 76, 144, 145, 147], а також у численних працях українських вчених та звітах [13, 18, 29, 52, 53, 58-61, 102, 106, 108, 111, 113, 127].

Наразі загроза забруднення джерел питного водопостачання Калуського регіону значною мірою визначається затопленням Домбровського кар'єру (52.5 млн м<sup>3</sup>) та можливим витоком розсолів з концентрацією до 20 000 мг/дм<sup>3</sup> (на поверхні водного дзеркала кар'єру) та 400 000 мг/дм<sup>3</sup> (в придонній частині) у підземні води. Починаючи з літньої повені 2008 року, протягом 10 місяців водопритоки в кар'єр становили 2,26 млн. м<sup>3</sup> – понад третину об'єму розсолів, накопичених протягом 40 років. Вміст солей при цьому перевищував ГДК у 4,1 рази, хлоридів – у 5,2 рази. У зв'язку з розвитком карстово-суфозійних процесів та збільшенням дренаючого впливу прибортової частини кар'єру, сучасний стан об'єкта можна охарактеризувати як критичний, що несе загрозу безпеці життєдіяльності населення регіону.

Домбровський кар'єр – єдиний у світі, де відкритим способом видобувалася калійна руда. До 2008 року окремо існували північна та південна ділянки, які поступово наповнювалися водами та збільшувалися в об'ємі (а та б, рис. 2.1). Після гідравлічного сполучення обох ділянок в результаті масштабної повені 2008 року, збільшеного надходження в кар'єр атмосферних опадів і ґрунтових вод (с, d, e, f рис. 2.1), через відсутність ефективної (захисної) дренажної системи круті укоси стали дуже нестабільними. На північній частині кар'єру прогресують карстові утворення, що супроводжуються утворенням великих промоїн у напрямку річки Сівка, яка є притокою річки Дністер.



18.07.2005 - a



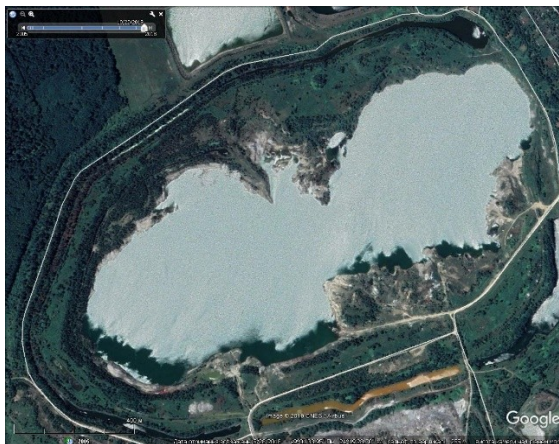
26.10.2006 - b



20.08.2013 - c



08.03.2017 - d



28.05.2018 - e



13.09.2020 - f

→ ПН

0 400 m

Рис 2.1. Космічні знімки Домбровського кар'єру. Джерело: інтернет-ресурс «Google Earth».

На кар'єрі роботи проводилося за транспортною системою розробки з вивезенням автосамоскидами розкривних порід на зовнішні та внутрішні відвали, руди – до дробарного цеху. Розпушення руди та скельних розкривних порід здійснювалося буро-вибуховим способом, що сприяло зниженню щільності солепородного масиву, формуванню водопроникних тріщинних та розущільнених (послаблених) ділянок і активізації зон потенційного карстоутворення.

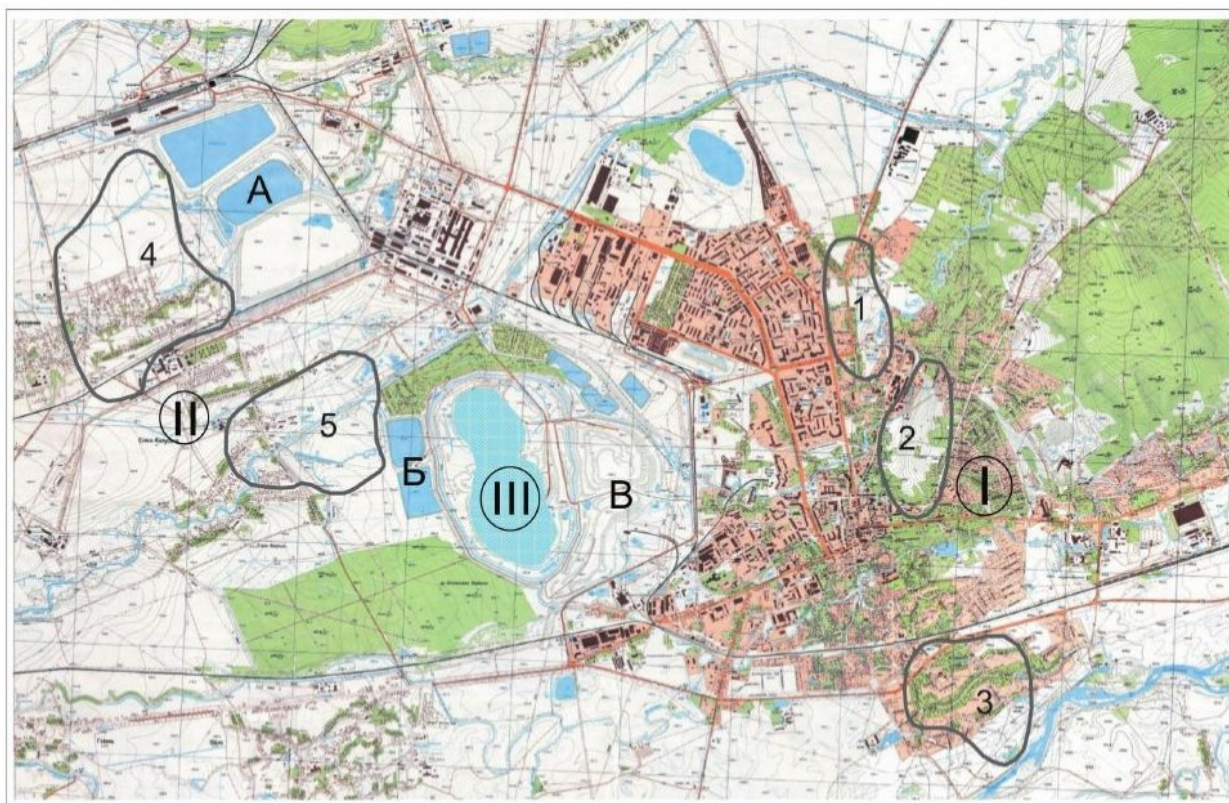


Рис. 2.2. Оглядова карта Калуш-Голинського родовища. Рудники: I – «Калуш», II – «Нова Голинь», III – Домбровський кар'єр»; шахтні поля: 1 – Північне каїнітове, 2 – Центральне каїнітове, 3 - Хотінське Сильвінітове, 4 – Східна Голинь, 5 – Сивка-Калуська; А – хвостосховища, Б – акумулюючі ємності, В – відвали кар'єру [124]

Видобуток калійних руд супроводжувався складуванням розкривних порід з вмістом легкорозчинних солей до 70 % у двох солевідвалах на східному борту Домбровського кар'єру [111]. У процесі збагачення калійних руд утворювалися значні об'єми солевмісних відходів, які розміщували в хвостосховищах та шламонакопичувачі (рис. 2.2.).

Пухкі розкривні породи розроблялися чотирма уступами висотою до 10 м з організацією селективного виймання: ґрунтово-рослинного шару, суглинків, галечників і гіпсо-глинистого покриву (кепрок). Скельні розкривні породи та рудний поклад з урахуванням їх підвищеної геомеханічної стійкості розроблялися уступами висотою до 15 м.

За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру вилучено 35,4 млн. м<sup>3</sup> розкривних порід і 14,7 млн. м<sup>3</sup> калійної руди, разом 50,1 млн. м<sup>3</sup> гірничої маси.

Аналіз системи розробки Домбровського кар'єру показав, що поряд із цінним досвідом одночасно було зроблено багато прорахунків. Соленосні відклади розчиняються, тому основне завдання – максимально можливе перехоплення і відведення прісної води з поверхні кар'єру за його межі. Друге важливе завдання – недопущення інтенсивного притоку до видобувної дільниці ґрунтових вод і гравійно-галькового водоносного горизонту. Третє завдання – вчасне перешкоджання інтенсивному розвитку карстових процесів. При повному затопленні кар'єру в товщі розчинів спершу відбуватиметься стратифікація за густиною і концентрація солей у верхньому шарі не буде насиченою, однак, без сумніву, вода не буде прісною. В умовах, коли прилегла до кар'єру територія протягом тривалого часу зазнає засолення, додаткове надходження вод, навіть із мінералізацією в 1 000 мг/дм<sup>3</sup>, є неприпустимим. Тому очевидно, що створювати таке потужне джерело постачання засолених вод у довкілля неможливо. Крім засолення водоносного горизонту та його непридатності для водопостачання, підвищення мінералізації ґрунтових вод призводить також до таких негативних явищ, як посилення корозії металевих та бетонних конструкцій. Очевидно, що активізація корозійних процесів спричиняє значні збитки, особливо коли в зону впливу агресивних розчинів потрапляють магістральні газопроводи та кабелі зв'язку. На сьогодні кар'єр, знаходячись у найбільшій депресії, збирає високомінералізовані води, що витікають з інших об'єктів (хвостосховища №1, солевідвалів №1 та №4, акумулюючих ємностей). Після його затоплення і часткового відновлення режиму природного стоку ці мінералізовані води

рухатимуться в напрямку місцевих природних дрен та регіонального нахилу підшови водоносного горизонту, тобто в бір русла р. Лімниця, вздовж русла р. Сівки та в напрямку м. Калуш [96].

У різні частини Домбровського кар'єру (переважно у південну) протягом тривалого часу завезено велику кількість хімічних відходів. Серед них була значна кількість високотоксичних та канцерогенних речовин.

Наразі дослідження вчених зводяться до того, що найкращим варіантом для вирішення екологічних проблем Калуського регіону є переробка розсолів Домбровського кар'єру чи підземне захоронення високомінералізованих розсолів у виснажені розробкою поклади вуглеводнів [79, 80-86, 88] або ж відновлення калійного виробництва з метою забезпечення країни якісною сировиною та можливістю видобутку з розсолів цінних компонентів. Найбільш ефективними методами переробки розсолів є їх випаровування та впровадження мембранних технологій, як це вже зроблено в багатьох європейських країнах [137, 147]. У 2005 р. Інститут гірничо-хімічної промисловості (ВАТ «Гірхімпром») розробив техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) ліквідації Домбровського кар'єру (три варіанти), а саме: заповнення залишкової ємності кар'єру прісними водами з попереднім скидом всіх розсолів ДП «Калійний завод», організація у Домбровському кар'єрі прісного озера та заповнення кар'єру відходами ДП «Калійний завод». Терміни реалізації варіантів варіюються від 15 до 21 року.

Враховуючи все вищезазначене, метою дисертаційної роботи є дослідження механізму формування хімічного складу гравійно-галькового водоносного горизонту та розсолів Домбровського кар'єру для прогнозування забруднення підземних і поверхневих вод в умовах природно-техногенної еволюції Домбровського кар'єру, від дренажної системи до джерела живлення, для упередження виникнення еколого-гідрогеохімічної надзвичайної ситуації на сучасному етапі пост-майнінгу.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі передбачалося поетапно виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасні дослідження, наукові матеріали та звітну документацію щодо еколого-гідрогеохімічного стану Калуш-Голинського родовища калійних солей;
2. Провести польові дослідження, що включали вимірювання рівня ґрунтових вод, відбір проб на хімічний та ізотопний аналіз;
3. Дослідити гідрогеологічну обстановку в межах родовища, зону дренажного впливу кар'єру та закономірності формування хімічного складу розсолів Домбровського кар'єру;
4. Проаналізувати динаміку засолення питних підземних вод та поверхневих водних об'єктів;
5. Визначити джерела хімічного забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту за допомогою ізотопних методів;
6. Побудувати математичну модель гідрогеологічних умов та виконати прогноз засолення підземних вод під впливом Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей;
7. Проаналізувати перспективи вилучення корисних елементів з розсолів Передкарпатського прогину, в тому числі Домбровського кар'єру.

## 2.1. Висновки до розділу

Перелік наукових доробків, присвячених дослідженню питань впливу Калуш-Голинського родовища на етапі пост-майнінгу на геологічне середовище, значний. Однак гідрогеологічний та гідрогеохімічний взаємозв'язок поверхневих та підземних вод в ході еволюції Домбровського кар'єру недостатньо вивчений. Наразі діючої математичної моделі як основи для прогнозування сольового забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту не представлено.

Загроза забруднення джерел питного водопостачання Калуського регіону істотною мірою визначається затопленням Домбровського кар'єру (52.5 млн м<sup>3</sup>). Стан об'єкта характеризується як критичний.

Проблема надходження високомінералізованих вод із Домбровського кар'єру та засолених інфільтратів із солевмісних відвалів і хвостосховищ є вкрай актуальною та однією з найважливіших у регіоні досліджень. Аналіз літературних джерел підтвердив необхідність комплексного підходу до вирішення питань затоплення кар'єру та можливого сольового забруднення питних підземних вод.

На сьогодні кар'єр, перебуваючи у найбільшій депресії, збирає розсоли, що витікають із хвостосховища №1, відвалів №1 та №4, акумулюючих ємностей. Після його затоплення відбудеться відновлення режиму природного стоку та рух високомінералізованих вод у бік регіональної дрени – р. Лімниця та м. Калуш. Саме тому основну увагу слід зосередити на дослідженні критичного стану Домбровського кар'єру.

Таким чином, у межах Калуш-Голинського родовища формується надзвичайна ситуація водно-екологічного походження, що становить загрозу безпеці життєдіяльності в регіоні.

## РОЗДІЛ 3. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ РОЗСОЛІВ У ЗОНІ ДРЕНАЖНОГО ВПЛИВУ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ

### 3.1. Геоінфільтраційне поле Домбровського кар'єру

Механізм утворення соляних розсолів у Домбровському кар'єрі є переважно результатом взаємодії атмосферних опадів з соленосними породами, тому їх об'єм і баланс залежать від кількості опадів, обсягів розвантаження ґрунтового водоносного горизонту, площі водозбору та тривалості контакту рідкої (водної) і твердої (сольової) фаз. Площа водозбору в межах кільцевої дренажної траншеї (КДТ) кар'єру становить 180 га. Об'єм утворюваних розсолів лише внаслідок інфільтрації атмосферних опадів (середня норма 700 мм/рік) складає 1,1 млн. м<sup>3</sup> на рік.

Основним джерелом формування сталих водоприпливів у Домбровський солевидобувний кар'єр є водоносний комплекс четвертинних надсолевих пухких відкладів. У верхній частині розрізу переважають суглинки, які донизу переходять у піщано-гравійно-галькові водопроникні відклади. Вміст валунної фракції становить 10-12 %, гальки – 35-60 %, гравію – від 13,5 до 52 %, піску – від 35 до 60 %, пилюватих і глинистих частинок – 0,2-6,5 %. Загальна потужність галькових відкладів змінюється від 1-3 до 8-11 м.

Гідрогеофільтраційною особливістю піщано-гравійно-галькового водоносного горизонту є здатність до суфозійного винесення дрібнозернистих глинисто-пилюватих частинок за умов локального збільшення гідравлічного градієнта потоку або місцевих деформаціях і зрушеннях водонасиченої товщі. Аналіз змін структури потоку піщано-гравійно-галькового горизонту в умовах формування депресійної воронки Домбровського кар'єру, місцевих зон підпірного живлення хвостосховищ та шламонакопичувачів, свідчить про сполучений вплив карстово-суфозійних процесів на розуцільнення порід і збільшення їх проникності.

За даними дослідно-фільтраційних робіт, коефіцієнти фільтрації надсолевого горизонту в природному стані дорівнюють 1,2-2,0 м/добу, а в районі русла р. Сівка – 2,8-4,0 м/добу.

Зона дренажного впливу Домбровського кар'єру в геолого-гідрогеологічному плані характеризується мінімальними глибинами залягання сольового дзеркала (поверхні сольової товщі) та наявністю напірно-безнапірного піщано-гравійного-галькового горизонту в підшві пухких покривних порід. Розкриття кар'єрного поля в таких умовах призвело до активізації карстово-суфозійних процесів, збільшення інфільтрації атмосферних опадів унаслідок карстово-суфозійного розушільнення покривних порід (переважно в ділянках, пов'язаних з карстовими каналами та лійками – так званий «тунельний ефект»), прискорення руху підземних вод на межі з сольовим дзеркалом, збільшення міграції розчинних складових солерудного масиву у виробничий простір Домбровського кар'єру. Зростання витрат підземних вод при цьому збільшує їх агресивність до солепородного масиву прикар'єрної зони та мінералізацію дренажних вод.

Створення КДТ майже на урізі уступу Домбровського кар'єру, замість передбаченого первинним проектом відступу на 250 м, істотно знизило її гідрозахисну здатність і збільшило гідравлічні градієнти підземного потоку з поступовим зростанням суфозійного винесення глинисто-пилових фракцій та активізацією локального (точкового) та лінійного (канално-гідравлічного) карстоутворення [33].

Унаслідок цих процесів під впливом депресійної воронки, яка має наближену до площинно-радіальної структуру, гідрогеофільтраційне поле Домбровського кар'єру набуло строкатої неоднорідності. У цілому прийнято виділяти наступні елементи гідрогеофільтраційного поля Домбровського кар'єру, які переважно пов'язані з його технологічними об'єктами: кар'єрне поле, кільцева дренажна траншея, відвали, акумулюючі ємності, відвідний канал р. Сівки.

З аналізу наведених даних можна зробити висновок щодо збільшення зони дренуючого впливу прибортової частини кар'єру, що підтверджується осушенням КДТ (відрив рівня підземних вод від ложа), розвитком карстоутворення по периферії кар'єру (до 250-350 м і більше), аномальним збільшенням глинисто-

пилових фракцій у стічних водах кар'єру, що особливо характерно у період після повені 2008 р., з одночасним зростанням водопривлівів.

Розширення території прояву карстово-суфозійного процесу істотно зменшило геотехнічну стійкість покривних порід в підґрунті гідротехнічних споруд (дамб, бортів КДТ та ін.), що може призвести до розвитку надзвичайної ситуації (НС):

- 1) прориву рідких стоків хвостосховища №1 у кар'єр;
- 2) аварійного прориву стоку р. Сівка у кар'єр з його наступним прискореним затопленням;
- 3) формування техногенного стоку високомінералізованих вод в басейни річок Сівка та Лімниця в геофільтраційній системі піщано-гравійно-галькових відкладів та карстових утворень надсольового дзеркала.

### 3.2. Динаміка заповнення Домбровського кар'єру розсолами

Динаміка водопривлівів у кар'єр оцінювалася за даними ДП «Калійний завод», ДП НДІ «Галургія» та ІФНТУНГ за період 1967—2013 рр. (рис 3.1.)

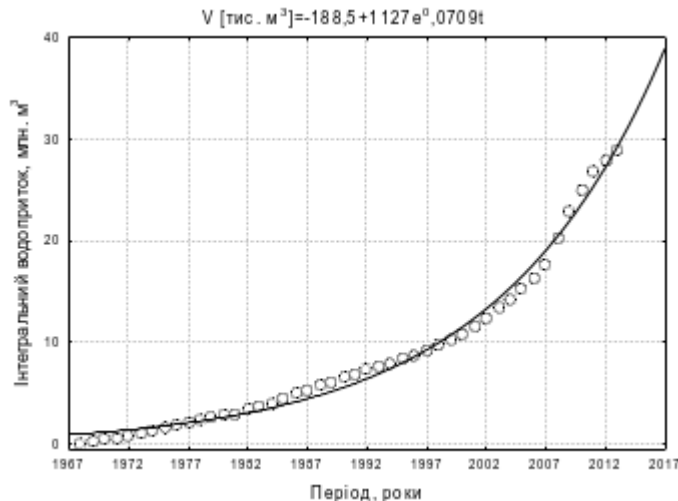


Рис. 3.1. Інтегральна (наростаючим підсумком) динаміка водопривлівів у кар'єр. Точками позначено експериментально-розрахункові дані ДП «Калійний завод», ДП НДІ «Галургія» та ІФНТУНГ.

Динаміка інтегрального водоприпливу має експоненційний характер залежності від часу та з високою достовірністю описується кривою вигляду:

$$V = a + b \cdot e^{k_B t} \quad (3.1),$$

де  $k_B$  – константа швидкості водоприпливу, яка має розмірність рік<sup>-1</sup>. Величина  $k_B$  становить 0,071 рік<sup>-1</sup>, що в межах 15 % співпадає з попередніми оцінками, де не враховувалися дані після 2009 р. [33].

Аналіз динаміки абсолютних відміток рівня розсолів Домбровського кар'єру дозволяє виділити протягом його експлуатації кілька часових періодів [76] (рис. 3.2.).

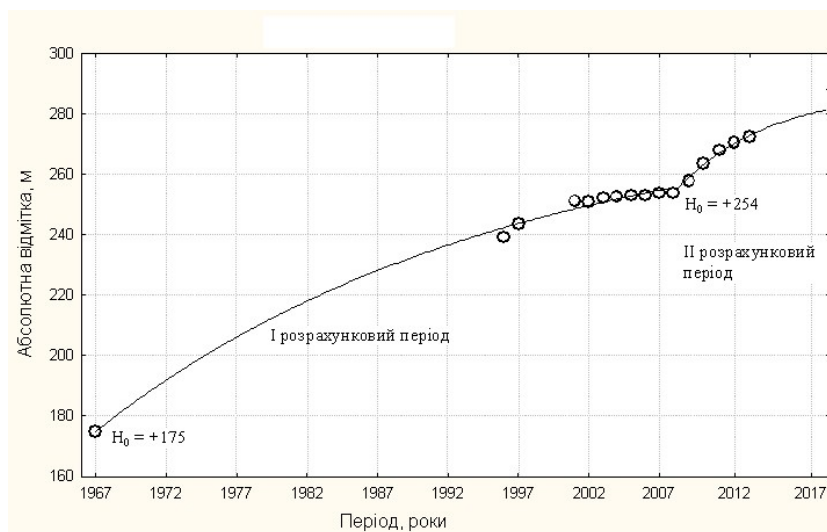


Рис. 3.2. – Динаміка рівня розсолів (за абсолютними відмітками) у південній дільниці Домбровського кар'єру. Точками нанесено дані спостережень ДП НДІ «Галургія».

1) Перший – від початку експлуатації (1967 р.) – відмітка 175 м південної дільниці до повені 2008 р., коли рівні південної і північної дільниць зрівнялися – відмітка 255,4 м. У цей період заповнення кар'єру стримувалося штучним перехопленням водоприпливів, відкачуванням води з кільцевої дренажної траншеї, закачуванням розсолів у шахти тощо.

2) Другий період розпочався після повені 2008 р., гідравлічного сполучення південного і північного кар'єрних полів та продовжувався до початку 2017 р. У цей

період заходи щодо перехоплення водоприпливів виявилися неефективними у зв'язку з руйнуванням і втратою дренажної здатності КДТ, збільшенням площі водозбору, інфільтраційного живлення внаслідок суфозійного рихлення перекриваючих порід та, можливо, інтенсифікації витоків зі шламонакопичувача і хвостосховищ. Слід відмітити, що відкачування розсолів у шахти неістотно уповільнювало заповнення кар'єру.

Природно, що протягом обох періодів спостерігається зниження темпів зростання абсолютних відміток поверхні розсолів, що пов'язано з розширенням чаші кар'єру. На кінець березня 2017 р. рівень розсолів у кар'єрі досягнув відмітки 277,5 м, що відповідає найнижчому рівню прісного водоносного горизонту (найнижча абсолютна відмітка підосви водоносного горизонту в межах зовнішнього контуру кар'єру по осі КДТ становить 274,0 м, найвища – 293,0 м).

3) Наразі товща розсолів створює гідравлічний підпір прісним водам підземного горизонту, що визначає зміну умов водного балансу об'єкта та початок третього умовного періоду – квазістабільного наповнення кар'єру (рис. 3.3). Головною характерною рисою цього періоду стала можливість відносної просторово-часової стабілізації дзеркала поверхні розсолів при незначних перевищеннях підосви надсольового горизонту .

Динаміка абсолютних відміток поверхні розсолу у кожному з виділених періодів досить точно апроксимується кривою вигляду:

$$H = H_0 + H_1 \cdot (1 - e^{-k_H t}), \quad (3.2)$$

де  $H_0$  – початкова абсолютна відмітка для кожного з періодів, м,  $H_0 + H_1$  – максимальна абсолютна відмітка дзеркала поверхні розсолу при збереженні темпів заповнення кар'єру у кожному з періодів, м,  $k_H$  – константа швидкості зростання абсолютних відміток поверхні дзеркала розсолу,  $\text{рік}^{-1}$ ,  $t$  – час, роки з нульовою точкою відліку для кожного з періодів.

Виходячи зі співвідношення  $k_H$  за відповідні періоди, можна зробити висновок, що підвищення абсолютних відміток поверхні дзеркала розсолів у період 2008-2017

рр. відбувалося в п'ять разів швидше, ніж у попередній період (1967-2008 рр.) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Розрахункові параметри динаміки абсолютних відміток дзеркала розсолу

Період, роки	H <sub>0</sub> , м	H <sub>1</sub> , м	H <sub>0</sub> +H <sub>1</sub>	k <sub>H</sub> , рік <sup>-1</sup>
1967-2008	175	106	281	0,0346
2008-2017	254	34,0	288	0,162

Таким чином, при досягненні максимальної відмітки наповнення кар'єру відбуватиметься розвантаження водно-сольового тіла в товщу гравійно-галькового водоносного горизонту, заповнення карстових порожнин, розмивання бортів, зростання обсягу чаші кар'єру та розміру області дренавання ґрунтових вод алювіальних гравійно-піщаних відкладів річок Сівка та Лімниця.

Такі ж само два періоди виділяються при аналізі темпів наповнення кар'єру. (рис. 3.3.) Аналіз експериментально-розрахункових даних ДП «Калійний завод», ДП «НДІ Галургія» та ІФНТУНГ дає підстави для апроксимації їх рівнянням:

$$\lg V = V_0 + V_1 \cdot (1 - e^{-k_V t})$$

(3.3)

Фізичний сенс параметрів цього рівняння такий же, як і у формулі (3.2). Об'єм розсолів позначено літерою  $V$ ,  $k_V$  – константа швидкості наповнення кар'єру розсолами, розмірність якої рік<sup>-1</sup>.

Величина  $k_V$  протягом 2008–2017 рр. удвічі вища, ніж у період 1967-2008 рр., відповідно, зросли темпи наповнення кар'єру (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Розрахункові параметри динаміки об'єму розсолу (у логарифмічних координатах рівняння)

Період, роки	V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>0</sub> +V <sub>1</sub>	k <sub>V</sub> , рік <sup>-1</sup>
1967-2008	0	7,077	7,077	0,0906
2008-2017	6,795	0,725	7,52	0,175

--	--	--	--	--

Розрахункові максимальні об'єми наповнення у різні періоди, розраховані за формулою:

$$V_{\max} = 10^{V_0+I_1} \quad (3.4)$$

становлять 11,9-33,1 млн м<sup>3</sup>.

Збільшення водопритливів у кар'єр є ознакою подальшої активізації карстово-суфозійного процесу. Головними чинниками збільшення припливу виступають:

- 1) підвищена фільтрація в межах прилеглої до кар'єру річкової долини р. Сівка із зростанням суфозійної проникності порід;
- 2) наявність деформації породного цілику між дренажною траншеєю і уступом кар'єру;
- 3) підпірний вплив з боку хвостосховища.

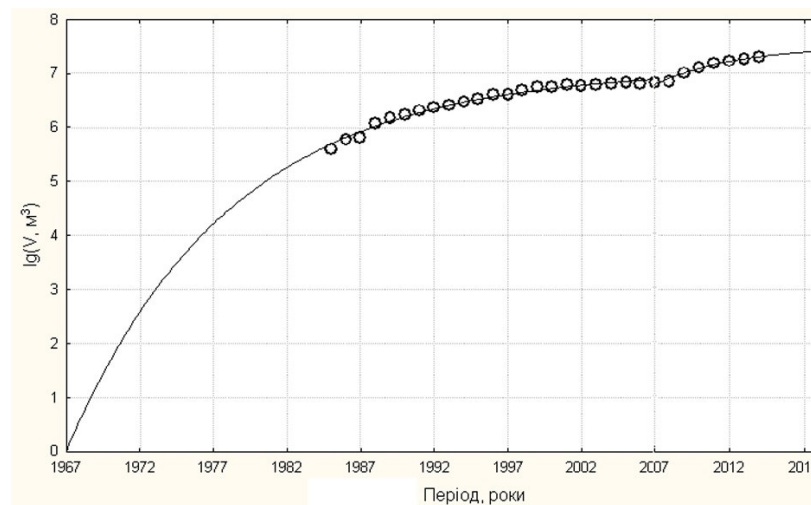


Рис. 3.3. Динаміка об'єму розсолу в кар'єрі (південній і північній ділянках). Точками показано дані, розраховані з цифрової моделі ІФНТУНГ (за абсолютними відмітками рівня), доповнені експериментальними даними ДП «Калійний завод»

Наслідком збільшення кар'єрного припливу буде розвиток двох процесів, які вплинуть на прискорення руху солоних вод у гідрогеофільтраційному полі

грунтового водоносного горизонту до місцевих зон дренажу у руслах місцевих річок Млинівка та Лімниця:

1) збільшення гідравлічного градієнту грунтового водоносного горизонту у прибортовій зоні до величини  $I = \alpha \cdot M_k = 0.00065 \cdot 60 \approx 0.04$  при фоновому значенні  $I \approx 0.005$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт зростання густини мінералізованих вод ( $M = 1\ 000 \div 350\ 000$  мг/дм<sup>3</sup>),  $\alpha = 0.00065$  [16];  $M_k = 60\ 000$  мг/дм<sup>3</sup> – мінералізація верхнього шару кар'єрних вод (станом на 2018 р);

2) об'ємно-структурна деградація колоїдних сполук у глинистих прошарках зі збільшенням проникності порід грунтового водоносного горизонту.

Слід зазначити, що після досягнення підйому рівня кар'єрних вод до відмітки 278 м, досягнутої у березні 2017 р., змінилася структура водного балансу кар'єру, відповідно прогнозовані параметри вимагають істотного корегування на базі моніторингових спостережень та експериментального визначення гідравлічних (прибортова зона) та фільтраційних (латеральна зона потоку ґрунтових вод) параметрів гравійно-галькового водоносного горизонту [76].

Баланс водоприпусків у Домбровський кар'єр у 2008 році дослідили Долін В. В. та ін. [34]. За їх даними загальний приток у кар'єр сягав 4,23 тис. м<sup>3</sup>/добу (літня межінь) при умові відносного рівноважного стану породного масиву між уступом кар'єру та дренажною траншеєю (без впливу повеневої суфозії та розущільнення порід в зоні прилеглої до кар'єру річкової долини). Збереження величини сумарного водоприпливу у післяповеневий період (03.09.2008-30.10.2008) є свідченням переважаючого дренажного впливу гідравлічно-суфозійного каналу в зоні річкової долини р. Сівка, що примикає до Північної ділянки кар'єру.

На думку авторів публікації [33] вплив випаровування з поверхні кар'єрної водойми практично дорівнює точності гідрометричних спостережень за опадами та поверхневим стоком та є несуттєвим.

Після липневої повені (станом на 03.09.2008) було зафіксовано перевищення водоприпливу в Північну ділянку порівняно з Південною ділянкою майже у 9 разів. Це свідчить про переважання гідравлічного режиму притоку в кар'єр на його

бортових уступах та про механічну суфозію надсольового горизонту (аномальне скаламучування вод у кар'єрі після повені).

Додатковим підтвердженням дії цього фактору є прискорений розмив уступу Північної ділянки кар'єру (північно-західна ділянка) і руйнування його рівноважного профілю.

На думку авторів [33] надходження до 80-90% водопріпливів переважно у гідравлічному режимі в межах зони дренажного впливу прилеглої річкової долини дозволяє проводити балансові оцінки дренажного стоку у кар'єр шляхом спостережень за його обсягами та підйомом водного дзеркала. При цьому дуже важливим є деталізація спостережень під час опадів та повеней.

Проаналізувавши гідрогеофільтраційні розрахунки [33] можна зробити висновок, що водопріпливи у кар'єр мають відносно врівноважений з опадами режим (квазіусталений режим).

### 3.3. Висновки до розділу.

Утворення соляних розсолів у Домбровському кар'єрі – це переважно результат водно-балансової та фізико-хімічної взаємодії атмосферних опадів із соленосними породами. Накопичення соляних розсолів залежить від кількості опадів, обсягів розвантаження ґрунтового водоносного горизонту, площі водозбору та тривалості контакту рідкої (водної) і твердої (сольової) фаз.

У розділі проаналізовано гідрогеофільтраційне поле кар'єру. Визначено, що зона дренажного впливу Домбровського кар'єру в геолого-гідрогеологічному плані відрізняється мінімальними глибинами залягання сольового дзеркала (поверхні сольової товщі) та наявністю напірно-безнапірного піщано-гравійного-галькового горизонту у подошві пухких покривних порід. Розкриття кар'єрного поля в даних умовах призвело до активізації карстово-суфозійних процесів, збільшення інфільтрації атмосферних опадів унаслідок карстово-суфозійного розущільнення покривних порід, зокрема, над карстовими каналами та лійками (так званий "тунельний ефект"), прискореного руху підземних вод на границі з сольовим дзеркалом, збільшення міграції розчинних складових солерудного масиву у виробничий простір Домбровського кар'єру.

З аналізу наведених даних можна зробити висновок щодо збільшення зони дренуючого впливу прибортової частини кар'єру, розвитком карстоутворення по периферії кар'єру (до 250-350 м і більше), аномальним збільшенням глинисто-пилових фракцій у стічних водах кар'єру, що особливо характерно у період після повені 2008 р., з одночасним зростанням водопритливів.

Розширення території прояву карстово-суфозійного процесу істотно зменшує геотехнічну стійкість покривних порід в підґрунті гідротехнічних споруд, що може призвести до НС у регіоні. Динамічному розвитку карстово-суфозійного процесу сприяли:

- значна площа відслонення піщано-гравійно-галькового горизонту по периметру кар'єру;

- збільшення проникнення водонасичених порід унаслідок винесення дрібнозернистих фракцій з одночасним розущільненням над зонами карстоутворення.

Проаналізована динаміка інтегрального водопритоку має експоненційний характер залежності від часу. Надходження до 80-90% водопритоків переважно у гідравлічному режимі в межах зони дренажного впливу прилеглої річкової долини дозволяє проводити балансові оцінки дренажного стоку у кар'єр шляхом спостережень за його обсягами та підйомом водного дзеркала. При цьому дуже важливим є деталізація спостережень під час опадів та повеней. Гідрогеофільтраційні розрахунки є доказом того, що водопритоки у кар'єр мають відносно врівноважений з опадами режим (квазіусталений режим).

Високий ризик розвитку НС підтверджується руйнуванням північної ділянки КДТ внаслідок прояву зсувних деформацій на укосах бортів кар'єру та їх наближення до долини р. Сівка, яка успадковує ослаблену зону породного масиву (швидкість більше 50 м/рік за даними геофізичних і натурних спостережень).

Наразі товща розсолів створює гідравлічний підпір прісним водам гравійно-галькового водоносного горизонту, що характеризує третій умовний період квазістабільного наповнення кар'єру. Головною характерною рисою цього періоду стала можливість відносної просторово-часової стабілізації дзеркала поверхні розсолів при незначних перевищеннях підосви надсольового горизонту.

Гідрогеологічна ситуація на території Калущ-Голинського родовища свідчить про необхідність збільшення комплексності (гідрологічні, гідрогеохімічні, геофізичні, дистанційні та ін. спостереження) геоекологічного моніторингу природно-техногенної геосистеми “техногенний комплекс кар'єру - навколишнє середовище” для своєчасного виявлення та запобігання розвитку НС.

## **РОЗДІЛ 4. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОГЕОХІМІЧНІ УМОВИ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ**

На території дослідження містяться верховодка, гравійно-гальковий водоносний горизонт і води соляного дзеркала (розглянуто у попередніх розділах).

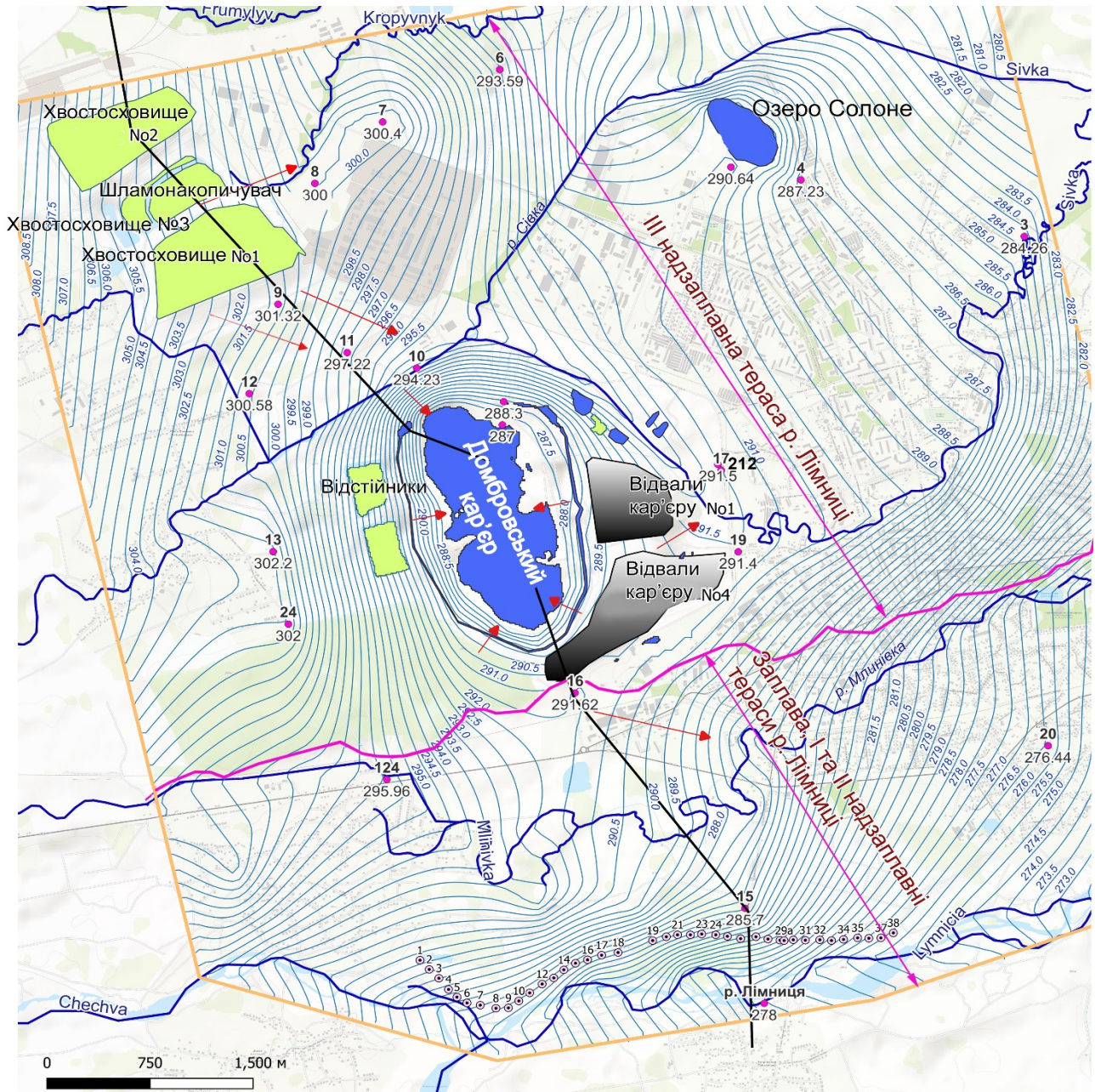
Практичне значення для безпеки життєдіяльності має гравійно-гальковий водоносний горизонт, який є єдиним джерелом водопостачання м. Калуш та сільських населених пунктів. В умовах експлуатації Калуш-Голинського родовища калійних солей та в умовах, власне, пост-майнінгу під впливом гірничих виробків, відвалів, хвостосховищ та шламонакопичувача відбувається значне засолення водоносного горизонту. В таких умовах актуальною є розробка заходів щодо його захисту від забруднення. З метою визначення рівнів та напрямків розповсюдження засолення, а також прогнозування змін гідрогеологічних та гідрохімічних умов, у 2021-2023 рр. було проведено ряд гідрогеологічних спостережень. Ці дослідження стали основою для створення математичної моделі гідрогеологічних умов і можуть бути використані для розробки заходів захисту гравійно-галькового водоносного горизонту від забруднення. Обстеження спостережних свердловин дало змогу побудувати карту гідроізогіпс водоносного горизонту (рис. 4.1), що виконано вперше за останні десятиріччя, і яка дозволяє на основі фактичних експериментальних даних створити уявлення про сучасні гідрогеологічні умови території.

### **4.1. Сучасні гідрогеологічні умови гравійно-галькового водоносного горизонту**

Гравійно-гальковий водоносний горизонт має площинне поширення (рис. 4.2).

Він приурочений до сучасних та верхньочетвертинних алювіальних відкладів. Сучасні алювіальні відклади поширені в заплавах та в руслах рр. Лімниця, Чечва, Млинівка, Сівка та Кропивник. Верхньочетвертинні алювіальні відклади поширені на I, II та III надзаплавних терасах р. Лімниця.

Сучасні алювіальні відклади представлені добре промитими шарами, складеними галькою та валунами з гравійно-пісчанним заповнювачем.



**Умовні позначення:**

- - кар'єр, озера, ставки
- - хвостосховища, шламонакопичувач
- - відстійники
- - відвали кар'єру
- - річки
- 7 - свердловини Добровлянського водозабору їх номери,
- 7 - спостережна свердловина та її номер
- - відмітка рівня ґрунтових вод в Балтійській СВ
- 290.5 - гідроізогіпси та їх відмітки в Балтійській СВ
- - межа третьої тераси р. Лімниця
- - напрямок течії ґрунтових вод

Рис. 4.1. Карта гідроізогіпс та напрямку руху гравійно-галькового водоносного горизонту станом на вересень 2021 р.

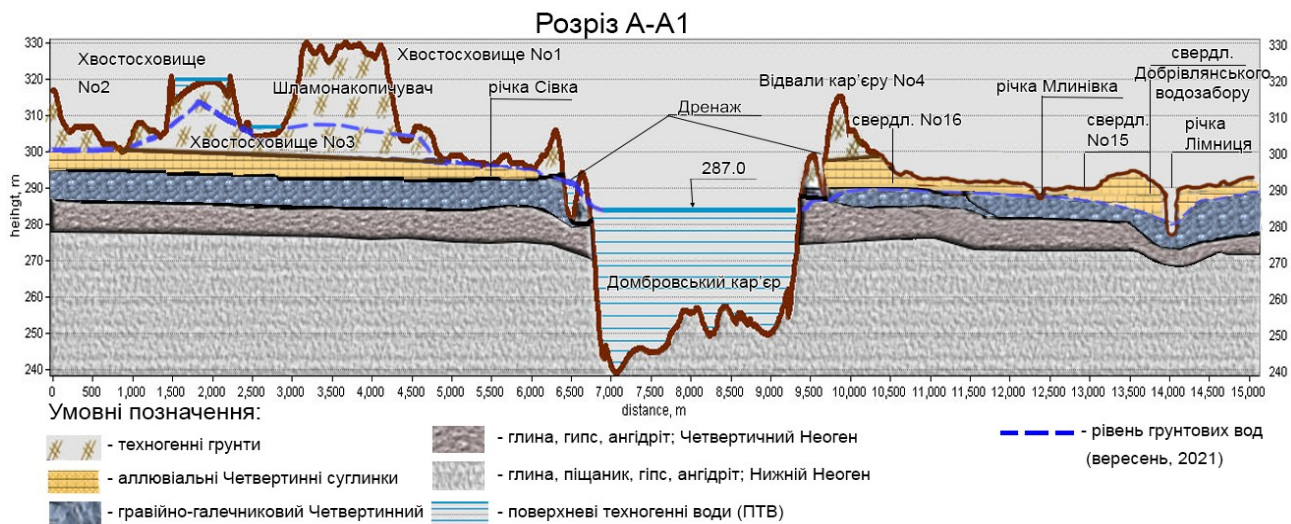


Рис. 4.2. Геолого-гідрогеологічний розріз по лінії, що вказана на рис. 4.1.

Підземні води в верхньочетвертинних алювіальних відкладах надзаплавних терас складаються з двох шарів. Верхній шар глинистих ґрунтів представлений суглинками та супісками. Нижній гравійно-гальковий шар складений валунами та галькою. Заповнювачами цього шару слугують гравій, пісок, супіски та суглинки. Такий склад ґрунтів визначає високу неоднорідність фільтраційних властивостей водоносного горизонту, що буде детальніше розглянуто далі.

Таблиця 4.1.

#### Геологічна будова території дослідження

№ п/п	Узагальнені інтервали глибин залягання шарів ґрунтів, м	Опис та вік ґрунтів (відкладів)
1	0 – 3	Суглинки алювіальні четвертинні
2	3 – 9	Гравій, галька алювіальні четвертинні
3	9-20	Гіпсово – глиниста шапка. Зона вивітрювання. Глини, гіпс, ангідрит, четвертинні, неогенові
4	> 20	Глини, пісковики, алевроліти, гіпс, ангідрит, пласти та лінзи кам'яної та калійної солі, нижній неоген.

Зрозуміло, що процес засолення найбільш швидко поширюється у водоносному горизонті, переважно по шарах гравійно-галькових ґрунтів. [77].

Потужність гравійно-галькового шару надзаплавних терас складає від 3 до 18 м. Найбільша потужність спостерігається на ділянках сучасних чи старих руслів річок Сівка та Млинівка. Найменша потужність приурочена до вододілів. На основі аналізу матеріалів, зібраних дисертанткою в попередні роки, було побудовано математичну модель території, згідно з якою середня потужність гравійно-галькового шару по периметру Домбровського кар'єру становить 8 м.

Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, втрат води з хвостосховищ, шламонакопичувача та акумулюючих ємностей. Як показано на рис. 4.1, в районі свердловини №10 живлення водоносного горизонту відбувається з русла р. Сівка, з правого її борту. На цій ділянці річка протікає в штучному каналі, створеному для відведення її з площі Домбровського кар'єру. Зрозуміло, що в цьому місці русла не могли сформуватися підруслові алювіальні відклади, які б брали на себе частину підруслового потоку р. Сівка. Крім того, ухили потоку підземних вод на ділянці між р. Сівка та Домбровським кар'єром – значні. Це призводить до виникнення карсту, внаслідок вимивання солей з ГГШ в процесі підвищеної швидкості фільтрації підземних вод. Інтенсифікація карстових процесів також спричинена різким зниженням рівнів підземних вод в гравійно-гальковому водоносному горизонті за рахунок дренажного впливу Домбровського кар'єру. При цьому розсоли, що спорадично поширені в товщі ГГШ та в нижчезалягаючих шарах засолених порід отримують градієнт для вертикального руху вверх до гравійно-галькового водоносного горизонту, що, в тому числі, може призводити до виникнення карстових процесів. Наявність карсту підтверджується утворенням на поверхні землі карстових воронок, а також математичною моделлю. Для задовільної калібровки математичної моделі за участі даних по свердловині №10 виявилось необхідним значно підвищити коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту, щоб врахувати

карст в покрівлі ГГШ на цій ділянці. Розвантаження водоносного горизонту відбувається, в першу чергу, в руслах рр. Лімниця та Чечва та річок Кропивник, Сівка, Млинівка. Суттєве розвантаження гравійно-галькового водоносного горизонту відбувається в Домбровський кар'єр (рис. 4.1 та 4.2).

Глибини залягання рівнів підземних вод в межах заплавл річок коливаються від 1.1 (свердловина № 124) до 2-3 м (Добрівлянський водозабір). За результатами вивчення рівневого режиму підземних вод в 2021-2023 рр. по спостережним свердловинам, в межах надзаплавних терас глибини залягання рівнів підземних вод коливаються від 0.4 (свердловина № 16) до 8.7 м (свердловина № 9). Позначки рівнів підземних вод на ділянці дослідження змінюються від 310 м на північному заході до 273 м на південному сході (табл. 4.2). Відповідно, генеральний напрямок руху підземних вод відбувається з північного заходу на південний схід. Ухили поверхні рівнів водоносного горизонту за межами дренажного впливу Домбровського кар'єру складають від 0.0014 до 0.005. По периметру Домбровського кар'єру ухили поверхні в теперішній час дорівнюють 0.005-0.009. А середній ухил поверхні впродовж 2018 – 2022 рр. становив 0.037.

#### **4.2. Аналіз гідрохімічного складу підземних вод**

Відбір проб води для вивчення хімічного складу підземних та поверхневих вод в рамках дисертації виконувався в 2021 та 2022 роках (табл 4.2). Також при визначенні гідрохімічних умов підземних та поверхневих вод були проаналізовані результати хімічних аналізів за 2019-2020 рр. ТОВ НООСФЕРА [38, 40] та Івано-Франківського Університету нафти та газу за 2021 та 2023 рр. [39, 99]. Проби підземних вод відбиралися із спостережних свердловин. Перед відбором проб свердловини прокачувались. Відбір води під час прокачки свердловин складав 3-4 об'єму стовпа води в ній. Також були відібрані проби з поверхневих природних вод (ППВ) р. Сівки, р. Млинівка та р. Лімниця і поверхневих техногенних вод (ПТВ) у Домбровському кар'єрі, КДТ, шламонакопичувачі (ШН) та хвостосховищі № 2 (ХС) (табл 4.3).

Таблиця. 4.2.

Результати визначення сухого залишку по пробам, що відібрані у вересні 2021  
та рівень ґрунтових вод (РГВ)

№ свердловин та назви місць відбору поверхневих вод	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	Рівень ґрунтових вод та поверхневих вод, м
3	400	289,3
4	400	286,8
5	2 000	289,5
6	400	280,7
7	400	285,0
8	2 800	281,6
9	16 800	279,6
10	1 600	280,9
11	1 200	285,3
12	800	284,0
13	1 600	273,6
15	400	270,2
16	2 400	275,2
17	400	296,9
19	1 600	289,3
20	400	293

р. Лімниця	400	275
р. Сівка	800	290,2
Північний борт Домбровського кар'єру	19 600	282
ХС №2	80000	
ШН	110 800	

Таблиця 4.3.

## Результати хімічного аналізу проб води, що відібрані в 2021-2022 роки.

	Дата	pH	Eh, мВ	Na	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	Сумм/М
Пн.схід КДТ	21.09.21	6,35		260	200	75,1	69,9	0,1	443,2	548,1	0	0,01	91,5	1687,91
Пн.схід КДТ	23.08.22	6,35	123	400	220	90,2	91,2		709,1	720,1		0,01	85,4	2316,01
Пн.частина Домбровсько го кар'єру	21.09.21	5,9		4500	1000	280,6	778,2	0,3	8438,8	3226,2	6,3		79,3	18314,2
Пн.частина Домбровсько го кар'єру	23.08.22	7,2	90	4250	1250	300,6	760		8509,7	3304,3			103,7	18478,3
Півден.части на Домбровсько го каналу	24.08.22	7,5		425	1200	280,5	832,9		8367,8	3308,4	0	0,01	91,5	18331,1 1
Шламкопи чувач №3	21.09.21	6,45		26000	8000	300,6	4377,6	0,3	46094,1	24998,6	0	0,01	164,7	109935. 9
р. Лімниця	21.09.21	6,65		6	1	22,5	1,5	0,1	7,1	30,5	1,8	0,02	73,2	143,72
р. Млинівка	25.08.22	7,15	245	40	10	37,6	7,6		70,9	70,8	4,8	0,02	112,3	354,02
р.Сівка міст	25.08.22	6,25	121	2000	500	56,1	282,1	0,1	3191,1	1551,3	1,7	0,15	141,6	7724,15
св.9	24.08.22	4,95	164	11000	2400	751,5	4560		27230,9	8625	0	0,5	51,3	54619.2

CB.10	23.08.22	6	65	100	120	340	340	0,1	1680,6	650	0,9	0,05	288	3519,65
CB.11	24.08.22	9,92	-35	3750	750	350,7	1520	0,4	9112,4	3505,9	6,3	0,4	67,1	19063,2
CB.12	24.08.22	6,35	-12	100	15	49,1	34	7,5	215,5	189,3	15,8	0,4	122	748,6
CB.13	24.08.22	5,75	72	600	5	215,4	69,9	0,4	1311,9	197,5	0	0,00	48,8	2448,93
CB.15	21.09.21	6,05		34	4	32,7	6,1	2,1	25,9	28,8	2,3	2,30	152,5	290,7
CB.16	21.09.21	5,6		450	50	107,8	73	0,2	815,5	381	2,3	0,01	67,1	1946,9
CB.16	24.08.22	5,35	53	4000	500	511	1076,2	7,5	8864,2	2827	0		63,4	17849,3
CB.17	25.08.22	6,25	-92	120	3	76,1	35,3	0,7	297,8	127,5	0	0	176,9	837,3
CB.19	25.08.22	6,5	-20	525	100	95,2	85,1		1028,2	456,7	0,	0,07	250,1	2540,4
CB.24	24.08.22	6,1	-44	75	1	24	12,1	0	36,8	90,5	0	0,06	170,8	410,3
CB.124	24.08.22	6,65		900	4	55,1	15,2	0,1	1418,3	209,8	0	0,03	244	2846,53
CB.212	25.08.22	6,25	-132	90	4	60,1	30,4	0,7	219,8	90,5	0	0,01	158,6	654,11

Таблиця 4.4.

Формула Курлова для хімічних аналізів, що надані в таблиці 4.3.

№ п/п	Формула Курлова
Півден. частина Домбровського каналу	$M 18\ 331 \frac{Cl\ 77\ SO_4\ 22}{Na\ 62\ Mg\ 23\ K\ 10} pH\ 7,50$
Пн. частина Домбровського кар'єру	$M 18\ 478 \frac{Cl\ 77\ SO_4\ 22}{Na\ 63\ Mg\ 21\ K\ 11} pH\ 7,20$
Пн. схід КДТ	$M 2\ 316 \frac{Cl\ 55\ SO_4\ 41}{Na\ 50\ Mg\ 21\ K\ 16\ Ca\ 13} pH\ 6,35$
р. Сівка міст	$M 7\ 724 \frac{Cl\ 72,2\ SO_4\ 26}{Na\ 69\ Mg\ 18\ K\ 10} pH\ 6,25$
р. Лімниця	$M 144 \frac{HCO_3\ 58\ SO_4\ 31\ Cl\ 10}{Ca\ 73\ Na\ 17} pH\ 6,65$
р. Млинівка	$M 354 \frac{Cl\ 37\ HCO_3\ 34\ SO_4\ 27}{K\ 38\ Ca\ 28\ Na\ 26} pH\ 7,15$
Шламонкопичувач №3	$M 109\ 936 \frac{Cl\ 71\ SO_4\ 29}{Na\ 66\ Mg\ 21\ K\ 12} pH\ 6,45$
св. 9	$M 54619 \frac{Cl\ 80,97\ SO_4\ 19}{Na\ 50,24\ Mg\ 39,3} pH\ 4,95$
св.10	$M 3\ 520 \frac{Cl\ 61\ SO_4\ 33}{Na\ 37\ Mg\ 37\ Ca\ 22} pH\ 6,0$
св.11	$M 19\ 063 \frac{Cl\ 78\ SO_4\ 22}{Na\ 50\ Mg\ 38} pH\ 9,92$

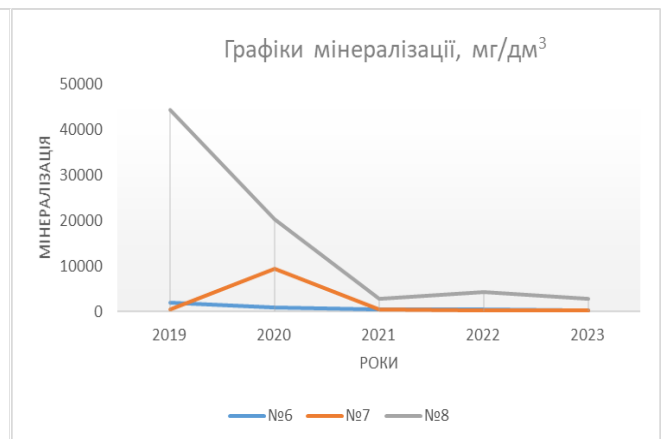
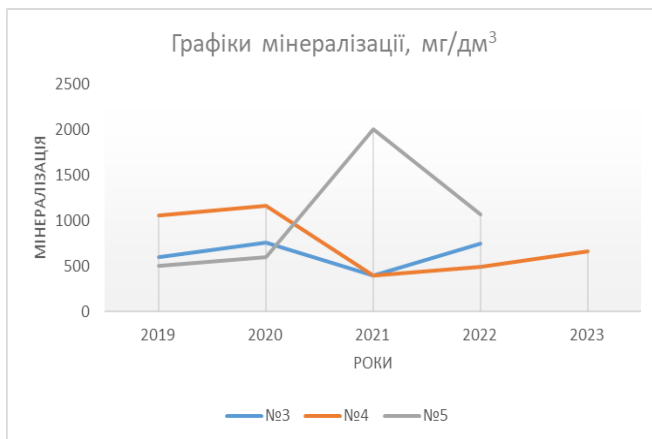
св.12	$\frac{\text{Cl } 50 \text{ SO}_4 \text{ 32 HCO}_3 \text{ 16}}{\text{M 749 Na 42 Ca 24}} \text{ pH } 6,35$
св.13	$\frac{\text{Cl } 88 \text{ SO}_4 \text{ 10}}{\text{M 2 448 Na 61 Ca 25 Mg 13}} \text{ pH } 5,75$
св.15	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 64 Cl } 19 \text{ SO}_4 \text{ 15}}{\text{M 291 Ca 43 Na 39 Mg 13}} \text{ pH } 6,05$
св.16	$\frac{\text{Cl } 81 \text{ SO}_4 \text{ 19}}{\text{M 7 849 Na 58 Mg 29 Ca 8}} \text{ pH } 5,35$
св.17	$\frac{\text{Cl } 60 \text{ HCO}_3 \text{ 21 SO}_4 \text{ 19}}{\text{M 837 Na 43 Ca 32 Mg 24}} \text{ pH } 6,25$
св.19	$\frac{\text{Cl } 68 \text{ SO}_4 \text{ 22 HCO}_3 \text{ 10}}{\text{M 2 540 Na 61 Mg 19 Ca 13}} \text{ pH } 6,50$
св.24	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 49 SO}_4 \text{ 33 Cl } 18}{\text{M 410 Na 59 Ca 22 Mg 18}} \text{ pH } 6,10$
св.124	$\frac{\text{Cl } 83}{\text{M 2 847 Na 91}} \text{ pH } 6,65$
св.212	M 654 pH 6,25

Таблиця 4.5.

Зміни мінералізації проб води, що відібрані в 2019-2023 рр. [99]

№ з/п	Найменування показника	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>
	Місце відбору проб	

		2019	2020	2021	2022	2023
1	Хвостосховище №2			80000		110840
2	Шламонакопичувач			110800	109936	140800
3	Дренажна траншея			1688	2316	3780
4	р. Лімниця			0,144	189	199
5	Домбровський кар'єр			19600	18478	19600
6	№3	600	760	400	747	
7	№4	1060	1160	400	497	662
8	№5	500	600	2000	1072	
9	№6	1900	1000	400	504	232
10	№7	400	9400	422	345	220
11	№8	44390	20200	2810	4421	2890
12	№9	50200	30360	16800	18164	59900
13	№10	5260	4970	1600	3520	692
14	№11	26010	19080	1200	19063	26400
15	№12	500	400	800	749	359
16	№13	1200	44120	1600	2448	16023
17	№15	360	600	400	291	297
18	№16	59400	1270	2400	17849	1740
19	№17	1080	1510	400	837	676
20	№19	1680	7900	1600	2540	
21	№20	600	400	400		330
22	№24				495	381
23	№ 61					852
24	№ 65					29211
25	№ 74					343
26	№ 75					780
27	№124				2847	5836
28	№212				654	874



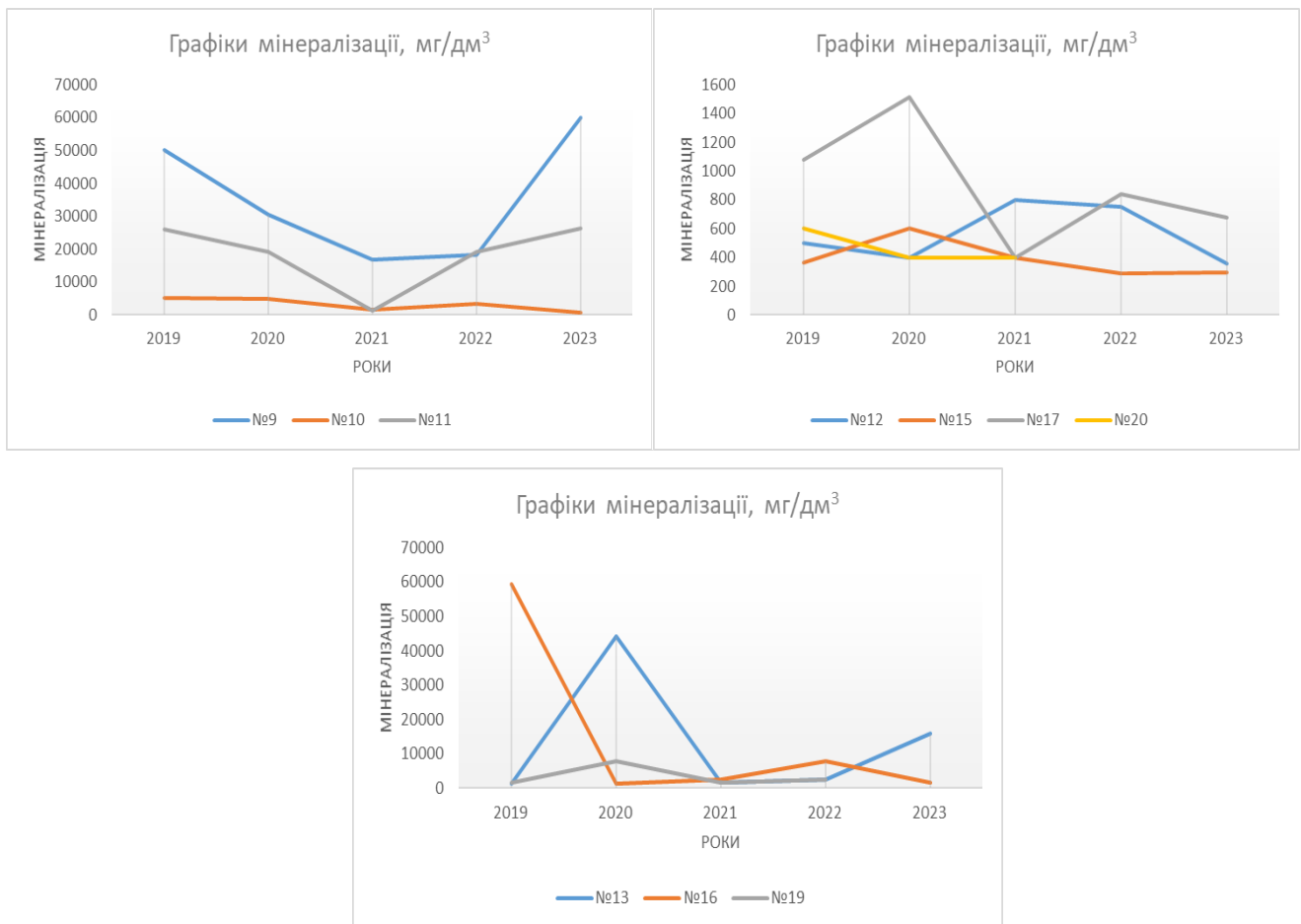


Рис. 4.3. Графіки мінералізації проб води, відібрані в 2019-2023 рр.

Згідно з таблицею 4.4, води гравійно-галькового водоносного горизонту за переважаючими компонентами хлоридні, рідше сульфатно-хлоридні, кальцієво-натрієві, рідше магнієво-натрієві. Тип їх хлоридний.

Згідно з таблицею 4.5 та рис. 4.3, де наведена динаміка змін мінералізації по пунктах спостережень, найбільші прирости мінералізації у 2021-2023 спостерігаються по свердловинах № 9 та № 11. По свердловині № 10 мінералізація, навпаки, значно зменшилась за результатами пробовідбору в 2023 р. Ці дані потребують уточнення.

У ряді свердловин № 8 та № 7 мінералізація теж зменшується в залежності від відстані до джерела забруднення, становлячи 2 890 мг/дм<sup>3</sup> та 220 мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

Фізичними процесами, що зумовлюють міграцію солей у підземних водах є конвективне перенесення їх разом з водою, а також дифузійне перенесення солей

при наявності градієнта концентрації, роль цих процесів може бути будь-якою в залежності від швидкості фільтрації, градієнта концентрації та інших чинників. Міграція супроводжується розсіюванням (дисперсією) солей і може ускладнюватися сорбцією, окисленням, відновленням та іншими фізико-хімічними процесами, зумовленими взаємодією із гірськими породами і підземними водами.

Переважно розглядаються дві основні моделі розсіювання солей, які призводять до різних схем міграції. У першій моделі, причиною розсіювання солей є нерівність локальних швидкостей конвективного потоку в пористому середовищі [101].

Встановлено, що така модель розсіювання призводить до схеми повного фронтального витиснення (поршневого витиснення) природних вод водами із постійного діючого джерела речовини, з формуванням між ними чіткої або “розмитої” границі розділу. По цій схемі фронтальне витиснення охоплює всю потужність водоносного горизонту, в якому встановлюється середня по висоті потоку постійна концентрація, з якою засолені води переміщуються по водоносному горизонті.

У другій моделі причиною розсіювання є розгалуження і злиття елементарних струминок при обтіканні зерен породи. Наприклад, якщо солі з певною концентрацією надходять із фіксованого постійного джерела, яке має малі розміри у порівнянні з областю фільтрації, то розгалуження струминок призводить до збільшення перетину, через який проходять солі і, відповідно, до зменшення їх концентрації.

У зв'язку з цим поруч пункту надходження речовини формується зона перемішування, яка має вигляд ареала, в межах якого відбувається розсіювання із зменшення концентрації при віддаленні від джерела солей.

Встановлено, що в межах Калуш-Голинського родовища засолення підземних вод проходить у вигляді ареалів, при формуванні яких можна виділити дві стадії: утворення сольового ареалу поблизу ділянки входу розсолів у водоносний

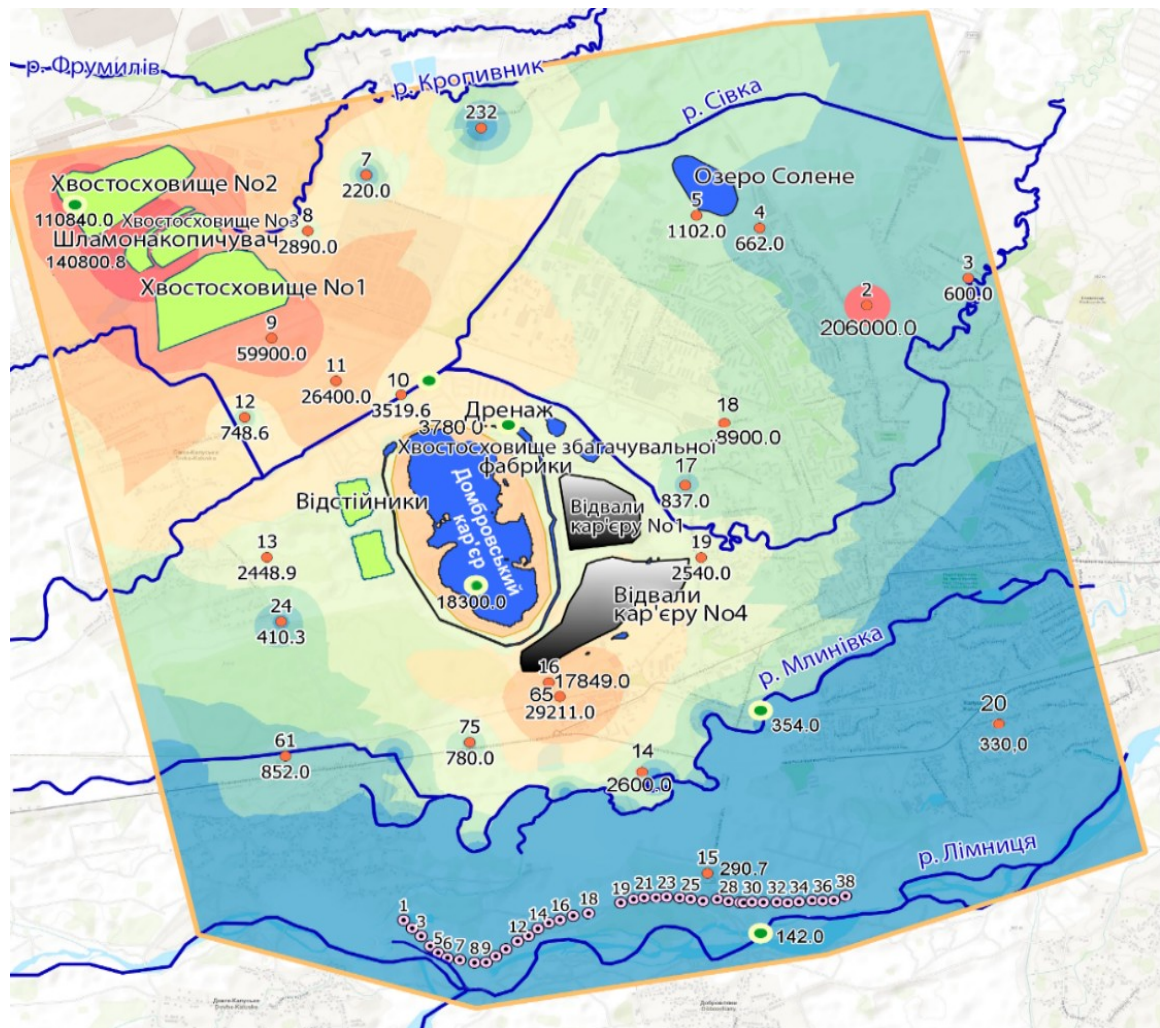
горизонт і занурювання його на підшову під дією гравітаційних сил; формування дисперсної зони при горизонтальному просуванні засолення [101].

Отже, з врахуванням вищенаведеного матеріалу та хімічних аналізів, що виконані в 2019-2023 рр. побудована карта мінералізації підземних вод гравійно-галькового водоносного горизонту (рис. 4.4).

Аналіз розподілу мінералізації дозволяє визначити джерела забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту. Виділяється ареол засолення нижче за потоком від ділянок розміщення ХС № 1, 2 та 3 та ШН. У відповідності до відстані розташування свердловин від цього джерела забруднення мінералізація підземних вод послідовно зменшується в ряду 59 900 мг/дм<sup>3</sup> (№9), 24 400 мг/дм<sup>3</sup> (№11) та 3 519 (№ 10) мг/дм<sup>3</sup>.

Вплив ХС № 1, 2, 3 та ШН на забруднення підземних вод підтверджується результатами використання ізотопного методу, детальніше про що буде зазначено в розділі 6.

Іншим потужним джерелом забруднення підземних вод є солевідвали № 1 та №4. Інфільтрація атмосферних опадів через ці ґрунти призводить до розчинення солей і виніс їх в підземні води чи безпосередньо через зону аерації, або за рахунок втрат солених вод з дренажів, що влаштовані у підніжжі солевідвалів.



### Умовні позначення

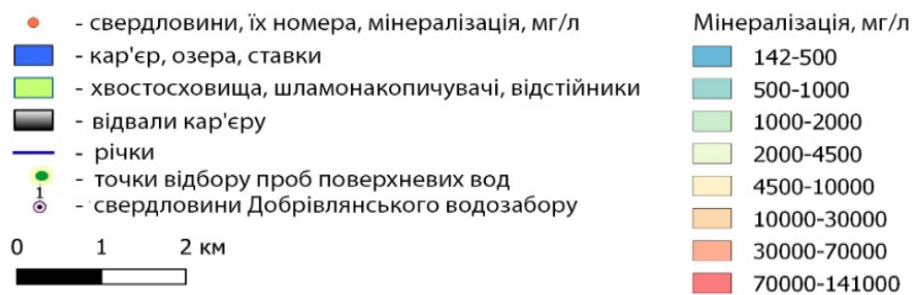


Рис. 4.4. Карта мінералізації підземних вод гравійно-галькового водоносного горизонту станом на 2022-2023 рр. в районі Калуш-Голинського родовища калійних солей. (Свердловини № 2, 14, та 18 в теперішній час ліквідовані. Результати по ним залучені зі звіту ТОВ «НООСФЕРА» за 2019-2020 рр. і тому в інтерполяції при побудові карти не враховувались).

Вплив солевідвалів на засолення водоносного горизонту спостерігається по свердловинам № 16 та, можливо, по свердловині № 65, мінералізація яких змінюється від 17 849 мг/дм<sup>3</sup> та 29 211 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Вища мінералізація в свердловині № 65, ймовірно, пояснюється тим, що конструкція свердловини дозволяє «підтягувати» розсоли з шарів ГГШ чи солевмісних порід при відборі проб. На жаль, паспорт спостережної свердловини № 65 відсутній, тому однозначні висновки можна буде зробити після проведення додаткових спостережень. Вплив саме солевідвалів на засолення підземних вод в районі свердловини №16 підтверджується результатами застосування ізотопного методу. Співвідношення дейтерію та важкого ізотопу кисню (<sup>18</sup>O) відповідає атмосферним осадам, а не воді Домбровського кар'єру (див. главу 6). Тобто, гіпотеза про механізм забруднення за рахунок інфільтрації атмосферних опадів через тіло солевідвалів підтверджується співвідношенням ізотопів. Вплив солевідвалів також спостерігається на ділянці розміщення свердловини № 19, мінералізація по якій дорівнює 2 540 мг/дм<sup>3</sup>.

У пробах підземних вод із свердловини № 18 мінералізація дорівнює 8 900 мг/дм<sup>3</sup> і є результатом впливу солевідвалів або, власне, хвостосховищ дослідної фабрики, що розташовані поруч.

Свердловина № 18 в теперішній час неорганізовано ліквідована, тому уточнити результат опробування цієї свердловини не представляється можливим.

Підвищена мінералізація підземних вод спостерігається по свердловині № 13. Впродовж 2021-2023 рр. спостерігається значне збільшення мінералізації від 2 400 до 16 030 мг/дм<sup>3</sup>. Найбільш вірогідним джерелом забруднення цієї ділянки є вплив експлуатації та виводу з експлуатації мережі підземних гірничих виробок шахтного поля Сівка-Калуська рудника Нова-Голинь. Консервація цих виробок виконувалася методом закачки в підземні пустоти високомінералізованих розсолів. Вплив цих розсолів на засолення гравійно-галькового водоносного горизонту може бути непередбачуваним і потребує подальших детальних спостережень.

Мінералізація в пробах води по свердловині № 124 несподівано висока (до 5 836 мг/дм<sup>3</sup>), при відсутності відомих джерел забруднення. Вірогідно, у цій

свердловині має місце «підтягування» розсолів з ГГШ в процесі прокачки перед водовідбором. Оскільки конструкція цієї свердловини невідома, більш детальний аналіз причин цього явища можна провести під час подальших спостережень.

Найнижча мінералізація (менше 1 000 мг/дм<sup>3</sup>) підземних вод спостерігалася в пробах свердловин № 4, 6, 7, 12, 7, 17, 20, 24, 61, 74, 75 та 212, що розташовані за межами впливу значних джерел забруднення водоносного горизонту чи вплив їх незначний.

Необхідно зазначити, що низькі фільтраційні параметри гравійно-галькових відкладів (водопроникність, коефіцієнт фільтрації) обмежують розповсюдження сольового забруднення у цьому районі.

За даними власних досліджень та ін. результатів дослідження [99] джерела забруднення водоносного горизонту, ПТВ, які локалізовані в ХС та ШН мають мінералізацію 109 936 (ХС) – 140 840 (ШН) мг/дм<sup>3</sup>. Мінералізація води на поверхні Домбровського кар'єру в 2021-2022 рр. коливалася в межах 18 314-18 478 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 4.5). Причому, для північної та південної його частини ці значення майже ідентичні. З глибиною Домбровського кар'єру мінералізація води збільшується до максимально можливих значень 400 000 мг/дм<sup>3</sup> (див. розділ 5).

Мінералізація води КДТ змінювалася від 1 688 – 2 316 мг/дм<sup>3</sup> в 2021-2022 рр. до 3 780 мг/дм<sup>3</sup> в 2023 р. (табл. 4.5). Розбіжність у значеннях, ймовірно, пов'язана з неідентичним місцем відбору проб.

ППВ річок Лімниця та Млинівка мають мінералізацію від 142 до 287 мг/дм<sup>3</sup>. Мінералізація води в р. Сівка значно вища і досягає 7 724 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 4.3 та 4.5). Джерелом забруднення р. Сівка є скиди з каналу, спорудженого для відведення р. Кропивник під час влаштування ХВ №3 та ШН (рис. 4.4).

Таким чином, проаналізувавши наявні дані за 2019-2023 рр можна зробити висновок, що підвищені значення мінералізації спостерігаються по групі свердловин, які перебувають у зоні безпосереднього впливу джерел забруднення. Тенденція на підвищення засолення зберігається у свердловинах № 9, 11, 13, 124,

212. Тренд на пониження мінералізації спостерігається у свердловинах № 6, 7, 8, 10, 12, 17, 20, 24.

### **4.3. Аналіз матеріалів визначення коефіцієнта фільтрації гравійно-галькового алювіального водоносного горизонту**

Аналіз фільтраційних властивостей гравійно-галькових відкладів потребує окремого виділення в описі ділянки поширення сучасних алювіальних руслових і заплавних фацій, а також відкладів I, II та III надзаплавних терас річки Лімниця.

На території Калуш-Голинського родовища встановлено наявність чотирьох річкових терас:

- 1) I-а заплавна тераса охоплює острови і мілини, складені гальковим матеріалом;
- 2) II-а надзаплавна тераса вирізняється двометровим уривчастим уступом над рівнем річки Лімниця;
- 3) III-а надзаплавна тераса, як і попередня, є акумулятивною;
- 4) IV-а надзаплавна тераса є структурною. До неї належить Войнилівська височина.

Інші річки та струмки району – Кропивник, Сівка та Млинівка – протікають по II-й та III-й надзаплавних терасах Лімниці або в межах її заплавної частини. Багатоводність цих річок різко змінюється: під час паводків вони затоплюють великі низовини, а в посушливі періоди міліють і перетворюються на струмки.

За віком утворення, геоморфологічними умовами та за фільтраційними властивостями єдиний гравійно-гальковий горизонт можна розділити на ділянки.

*Ділянка заплави р. Лімниця, яка представлена сучасними четвертинними відкладами.* Потужність цих відкладів складає 2-8 м. Вони представлені валунами, галькою та гравієм з пісчаним заповнювачем чи без заповнювача. Глибина залягання підземних вод варіюється від 0.4 до 6.6 м. У роботі [107] наведено

коефіцієнти фільтрації руслових фацій ґрунтів між Лімницею та Млинівкою від 140 до 371 м/добу. Для руслових відкладів р. Лімниці, за результатами одиночних відкачок води, середньозважений коефіцієнт фільтрації дорівнює 165 м/добу. Після обробки даних кушової відкачки води методом площинного простеження визначено коефіцієнти фільтрації від 187 до 197 м/добу.

У роботі [45] визначено коефіцієнти фільтрації алювію у південно-східній частині м. Івано-Франківськ, на лівобережжі р. Бистриця Надвірнянська. Було проведено групову відкачку води тривалістю 15 діб із двох колодязів загальним дебітом 1080 м<sup>3</sup>/доб при 8-ми спостережних свердловинах. Методами погодинного та комбінованого простеження визначено коефіцієнти фільтрації в межах від 15 до 247 м/добу. В якості середнього значення прийнято  $K_f=223$  м/добу. Середній коефіцієнт рівнепровідності становить  $9,1 \times 10^4$  м<sup>2</sup>/добу.

Таким чином, для алювіальних відкладів русел річок Лімниця та Млинівка можна прийняти значення коефіцієнта фільтрації 190 м/добу як достовірно визначене за результатами дослідно-фільтраційних робіт.

*Ділянка I та II надзапальної тераси, яка поширюється між заплавою і уступом III надзапальної тераси р. Лімниця у вигляді смуги шириною 0,5-3,5 км (рис. 4.1).* Водонесний горизонт поширений в гравійно-галькових відкладах з включеннями валунів. Заповнювачем виступають пісок, супіски та суглинки. Глибина залягання підземних вод коливається від 0.4 м (свердловина № 16) до 2.5 м (свердловина № 20).

Значення коефіцієнтів фільтрації для сучасної тераси коливається в межах 5-457 м/добу, при середньому 155 м/добу. Для першої тераси значення  $K_f$  коливається в межах 20-30 м/добу.

*Ділянка III надзапальної тераси розповсюджена від свого уступу (див. рис. 4.1) на північ до границь ділянки робіт.* Водонесний горизонт поширений в гравійно-галькових відкладах з включеннями валунів. Заповнювачем служать пісок, супіски, суглинки та глини. Глибина залягання підземних вод змінюється від 0,9 (свердловина № 5) до 8,2 м (свердловина № 9).

На поверхні III надзаплавної тераси розташовані Домбровський кар'єр, хвостосховища, шламонакопичувач, акумулюючі ємності та Солевідвали №1 та №4.

Ґрунти гравійно-галькового водоносного горизонту на цій ділянці в основному представлені фракціями [101]: валуни – 10-12 %; галька – 35-60 %; гравій – 13.5-52 %; пісок – 35-60 %; пилюваті та глинисті частки – 0,2-6,5 %. Згідно з нормативним документом [101], такий ґрунт слід класифікувати як гальковий з піщаним заповнювачем, гравійний з піщаним заповнювачем або пісок гравіюватий, залежно від того, яка фракція переважає понад 50%.

Фракція пилюватих та глинистих часток розподілена нерівномірно [101]. Тому коефіцієнти фільтрації цього шару варіюються в межах від 1 м/доба (біля хвостосховища №1) до 17,2 м/добу, при рекомендованому середньому 10 м/добу. У староріччях або прируслових ділянках цей параметр може досягати 67 м/добу. Однак у цьому ж звіті на ст. 15 написано, що на ділянці рудника «Калуш», коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового шару лише в окремих свердловинах досягає 1,2-2,3 м/добу, а, в цілому, по площі ділянки, складає лише 0,5-0,7 м/добу. Такі низькі фільтраційні параметри гравійно-галькових відкладів пояснюються присутністю в них суглинистого заповнювача (50-70 %). Виключенням є ділянки, що розташовані біля р. Сівки, де коефіцієнти фільтрації досягають 2,8-3,8 м/добу.

На ділянці розміщення хвостосховища №1 пористість шару, що описується, коливається від 8,5 до 13,2% [101]. Внаслідок змін складу заповнювача коефіцієнти фільтрації цих ґрунтів характеризуються певним діапазоном коливань: від 0,9 до 6,8 м/добу.

Потужність цього шару ґрунтів коливається в межах від 1-3 до 8-11 м, при середньому значенні 10 м [33].

На території рудника Ново-Голинь [101] потужність гравійно-галькового горизонту коливається у межах від 3,2 м до 17,4 при середньому значенні 8,36 м.

В роботі [33] визначено коефіцієнт водопровідності за даними розрахунків балансу притоків та водовідливу води з кільцевої дренажної траншеї Домбровського кар'єру за формулами Дарсі та Дюпюї. Ці величини становлять 168 та 176 м<sup>2</sup>/добу.

При середній потужності гравійно-галькового горизонту 10 м коефіцієнти фільтрації складають 16,8 та 17,6 м/добу. Однак, ймовірно, ці значення завищені, якщо врахувати, що надходження води в КДТ зі зовнішньої стінки відбувається не лише по гравійно-гальковому горизонту, а й через карстові порожнини в покрівлі ГГШ [101]. Тому ці величини проаналізовано та взято до уваги як попередні.

Таким чином, коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту на III надзаплавній терасі р. Лімниці, за літературними даними, коливається в широких межах від 0,5 до 67 м/добу в залежності від гранулометричного складу заповнювача галечників чи гравію.

#### **4.4. Визначення коефіцієнта фільтрації по даним надходження води в Домбровський кар'єр**

В попередній главі наводиться аналіз літературних матеріалів щодо визначення фільтраційних властивостей гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас. Було встановлено, що за літературними даними, коефіцієнт фільтрації (Кф) коливається в межах від 0,5 до 67 м/добу залежно від гранулометричного складу заповнювача галечників чи гравію. Такий широкий інтервал значень Кф негативно впливає на достовірність будь-яких прогнозів змін гідрогеологічних та гідрологічних умов, які пов'язані з водним режимом Домбровського кар'єру і його впливом на довкілля. Визначення Кф території класичними методами (відкачками води з свердловин) в умовах різких змін фільтраційних властивостей ґрунтів є неефективним, оскільки вимагає великої кількості дослідів, що на периметрі об'єкту дослідження в 5310 м виконати неможливо з фінансових та технічних причин. Тому для визначення усередненого Кф для значної території в роботі були застосовані балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр.

Для розрахунку Кф було враховано, що кар'єром дреноються підземні води гравійно-галькового водоносного горизонту в повному обсязі. Якщо визначити

об'єм води, що надійшла в кар'єр за певний час, і визначити частку підземного стоку, тобто дебіт підземних вод, то Кф розраховується за відомим рівнянням Дарсі.

*Метод розрахунку включає наступні кроки:*

1. За допомогою ГІС-технологій було визначено позначки рівнів води, об'єми води та площі водного дзеркала на дати 21.06. 2018 р. і 26.08.2022 р. Вибір дат обумовлений наявністю космічних знімків прийнятної якості.
2. Різниця в об'ємах води в кар'єрі дорівнює припливу води в кар'єр ( $Q_{\text{прип}}$ ) за проміжок часу між вищевказаними датами.
3. Водний баланс кар'єру складається з надходження підземних вод та різниці між атмосферними опадами та випаровуванням ( $Q_{\text{опад-випар}}$ ).
4. Надходження води за рахунок підземних вод ( $Q_{\text{під}}$ ) визначається як різниця між  $Q_{\text{прип}}$  та надходженням атмосферних опадів ( $Q_{\text{опад-випар}}$ ).

Кф визначаємо за формулою:

$$K_f = Q_{\text{під}} / HVI, \quad (4.1)$$

де  $Q_{\text{під}}$  – надходження підземних вод до кар'єру,  $H$  – потужність водоносного горизонту (8 м),  $V$  – периметр водного дзеркала в кар'єрі,  $I$  – ухил поверхні ґрунтових вод.

Як приведено в табл. 4.6, позначка рівня води в кар'єрі за 21.06.2018 дорівнює 280,63 м. Це значення узгоджується з позначкою 280,24 м, що була інструментально визначена в травні 2018 р. [70].

*Таблиця 4.6*

Результати розрахунків параметрів.

Дати визначення параметрів	Позначка рівнів води, м	Об'єм, м <sup>3</sup>	Площа водного дзеркала, м <sup>2</sup>	Між 21.06.2018 т 26.08.2022			
				Час, роки	Товщина шару води, що сформувалася	Збільшення об'єму води в кар'єрі, м <sup>3</sup>	Середнє значення надходження води в кар'єр за рік, м <sup>3</sup>
21.06.18	280.63	40892383	2046931	4.18	6.31	16077804	3846365
26.08.22	286.94	56970187	2574031				

На рис 4.5. наведені параметри, що визначені за допомогою ГІС-технологій.

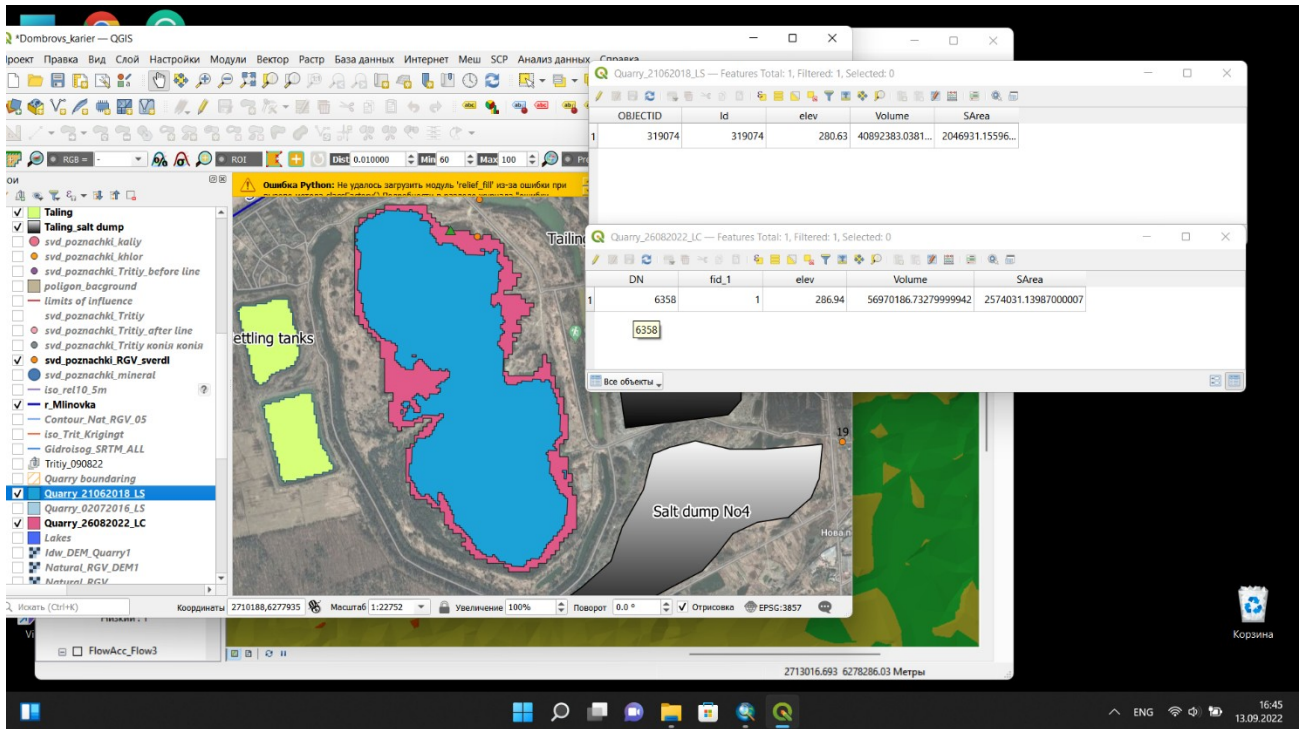


Рис. 4.5. Контури водного зеркала в кар'єрі на 21.06. 2018 р. і 26.08.2022 р.

Середня річна норма атмосферних опадів складає 0,778 м. Випаровування дорівнює 0,35 м (45%) [70]. Стовп води, що формується в кар'єрі впродовж року за рахунок опадів дорівнює 0,428 м. Отже, надходження води з опадами на площу кар'єру становить:

$$Q_{\text{опад-випар}} = SH = 2574031 * 0.428 = 1101685 \text{ м}^3, \quad (4.2)$$

де  $S$  – площа водного дзеркала,

$H$  - стовп води, що формується в кар'єрі впродовж року за рахунок опадів.

Згідно з вищенаведеною формулою, об'єм води, що надходить з підземними водами впродовж року чи за добу, дорівнює:

$$Q_{\text{під}} = Q_{\text{сер}} - Q_{\text{опад-випар}} \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{під}} = 3846365 - 1101685 = 2744679 \text{ м}^3/\text{рік} = 7520 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Периметр водного зеркала дорівнює 4800 м. Середній ухил потоку підземних вод на період між 21.06.2018 та 26.08.2022 складає 0,037. Потужність водоносного горизонту – 8 м [43].

Тоді, згідно з формулою (4.1):

$$K_f = 7520 / 0.037 * 8 * 4800 = 5,3 \text{ м/добу.} \quad (4.4)$$

Таким чином, вперше отримано  $K_f$  гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас, який усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і який може бути застосований для виконання прогнозів засолення підземних вод.

#### 4.5. Висновки до розділу

Досліджено гідрогеологічні умови гравійно-галькового водоносного горизонту, який є єдиним джерелом питної води Калуського регіону. З метою визначення рівнів та напрямків розповсюдження засолення, а також прогнозування змін гідрогеологічних та гідрогеохімічних умов, було відібрано проби води з 16 спостережних свердловин, розташованих в зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру, та визначено рівні ґрунтових вод.

Вперше за останні десятиріччя побудовано карту гідроізогіпс гравійно-галькового водоносного горизонту в результаті гідрогеологічних спостережень. Це дозволило на основі фактичних експериментальних даних створити уявлення про сучасні гідрогеологічні умови території. За результатами дослідження рівневого режиму підземних вод у 2021-2023 рр. по спостережним свердловинам, в межах надзаплавних терас глибини залягання рівнів підземних вод коливаються від 0.4 (свердловина №16) до 8.7 м (свердловина № 9). Позначки рівнів підземних вод на ділянці дослідження змінюються від 310 м на північному заході до 273 м на південному сході. Підтверджено напрямок руху підземних вод з північного заходу на південний схід. Ці дані лягли в основу створення математичної моделі гідрогеологічних умов і можуть бути залучені для розробки заходів захисту гравійно-галькового водоносного горизонту від забруднення.

За результатами відбору проб і проаналізованими даними хімічних аналізів за 2019-2023 рр. визначено динаміку зміни мінералізації та джерела забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту. Побудована карта мінералізації об'єкту дослідження.

Виділяється ареол засолення нижче за потоком від ділянки розміщення ХС №1, 2 та 3 та ШН. Мінералізація підземних вод становить 59 900 мг/дм<sup>3</sup> (№ 9), 24 400 мг/дм<sup>3</sup> (№ 11) та 3 519 (№ 10) мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

Потужним джерелом забруднення підземних вод є солевідвали №1 та №4. Вплив солевідвалів на засолення водоносного горизонту спостерігається по

свердловинам № 16 та, ймовірно, по свердловині № 65, мінералізація по яким змінюється від 17 849 мг/дм<sup>3</sup> та 29 211 мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

Загалом, виявлено, що підвищені значення мінералізації спостерігаються по групі свердловин, які перебувають у зоні безпосереднього впливу поверхнево-техногенних водойм. Тенденція на підвищення засолення зберігається у свердловинах № 9, 11, 13, 124, 212. Тренд на пониження мінералізації спостерігається у свердловинах № 6, 7, 8, 10, 12, 17, 20, 24.

Проаналізовано всі наявні літературні джерела та проведений комплексний підхід щодо визначення Кф гравійно-галькового водоносного горизонту. Визначено, за літературними даними, що коефіцієнт фільтрації (Кф) коливається в межах від 0,5 до 67 м/добу в залежності від гранулометричного складу заповнювача галечників чи гравію. Встановлений для попередніх прогнозних розрахунків Кф – 10 м/добу.

Для визначення усередненого Кф для значної території використано балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр та знайдено параметри для його розрахунку. З використанням рівняння Дарсі визначено, що Кф становить 5,3 м/добу.

Таким чином, вперше отримано коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас, що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і який може бути застосований для прогнозування засолення підземних вод.

## РОЗДІЛ 5. ГІДРОХІМІЧНІ ЧИННИКИ ЕВОЛЮЦІЇ СКЛАДУ РОЗСОЛІВ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ

Під час експлуатації Домбровського кар'єру (1965-2008 рр.) внаслідок осушення кар'єру навколо нього в дзеркалі ґрунтових вод утворилася депресійна лійка, рівні гравійно-галькового водоносного горизонту почали знижуватися до витоків води на підшві водоносного горизонту. Площа депресії кар'єру становила близько 1,5 км<sup>2</sup>. Наразі зона дренажного впливу кар'єру поступово зменшується. Після стабілізації природного режиму дренаж і розгрузка гравійно-галькового горизонту, як і до експлуатації кар'єру, відбуватиметься через р. Лімницю, яка дренує галечники. Отже, в результаті підпору гравійно-галькового водоносного горизонту кар'єрні розсоли розвантажуватимуться у горизонт, тим самим зменшуючи депресію. Приплив прісних вод у кар'єр стане меншим. В результаті Домбровський кар'єр виходить на квазістабільну рівновагу: кількість підземних вод, що розвантажуються в кар'єр є рівною кількості високомінералізованих вод, що потрапляють у горизонт [146].

Отже, наступним завданням дисертаційної роботи стало дослідження хімічного складу кар'єрних вод для прогнозування забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту.

Проаналізовано дані по абсолютним відміткам поверхні водного дзеркала (табл 5.1.) [99].

*Таблиця 5.1.*

Абсолютні відмітки поверхні кар'єрних вод

Рік	Абсолютна відмітка, м	Джерело
2008	255,4	ДП «Калійний завод»
2017	277.5	див. главу 3.2
05.2018	280.24	[70]
08.2022	287	За даними дешифрувальних знімків
07.2023	289.020	[99]

--	--	--

Після повені 2008 року спостерігається поступове неконтрольоване наповнення Домбровського кар'єру атмосферними та підземними водами. За останні 15 років рівень кар'єрних вод збільшився на 15 м.

### 5.1. Хімічний склад розсолів

Для аналізу хімічного складу поверхневого шару розсолів Домбровського кар'єру використано дані ДП «Калійний завод», Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України» та Науково-інженерного центру радіогідроекологічних полігональних досліджень НАН України [146] (табл. 5.2).

Таблиця 5.2.

#### Хімічний склад поверхневого шару розсолів Домбровського кар'єру

Рік	Хімічний склад поверхневого шару розсолів, мг/дм <sup>3</sup>						d, г×см <sup>-3</sup>	Джерело ДП «Калійний завод»
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>		
1968	59 980	15 450	7 830	18 800	116 630	219 350	1,148	
1969	53 030	18 180	10 640	16 810	118 790	217 430	1,158	
1971	52 980	16 000	17 020	17 450	133 900	237 820	1,222	
1972	62 480	20 880	9 120	13 250	134 750	242 000	1,165	
1973	61 700	25 000	13 980	20 280	145 370	267 3500	1,165	
1976	48 850	15 300	16 100	47 500	102 800	231 510	1,130	
1977	64 800	14 520	13 320	45 480	119 280	253 020	1,177	
1978	63 600	18 960	11 760	44 880	117 600	248 120	1,152	
1979	77 880	18 120	25 920	113 280	135 120	375 240	1,196	
1980	77 760	28 080	16 080	49 080	156 960	312 940	1,211	

1981	63 360	18 360	11 880	44 880	118 320	248 030	1,151	
1982	55 450	16 400	13 400	37 700	113 500	237 510	1,137	
1983	63 700	23 610	16 960	49 170	134 750	289 290	1,175	
1984	54 120	20 530	12 800	28 850	120 600	238 310	1,175	
1985	77 400	35 220	18 120	52 560	170 210	356 270	1,263	
1986	75 280	26 140	16 170	56 070	147 160	220 180	1,195	
1987	77 960	18 750	12 770	34 760	148 930	293 170	1,194	
1988	64 960	21 530	27 360	95 700	136 520	347 570	1,195	
1989	56 900	14 250	18 300	77 540	99 290	267 690	1,141	
1990	62 460	26 130	22 870	47 310	150 700	309 370	1,218	
1992	57 500	14 000	9 060	58 080	86 880	226 020	1,117	
1994	58 560	22 080	16 560	19 680	146 040	256 400	1,165	
1995	64 440	29 640	19 920	41 520	154 800	313 600	1,213	
1996	56 040	12 000	12 240	40 440	104 640	214 560	1.138	
1997	62 500	21 600	14 830	44 170	127 660	271 370	1,185	
1998	48 710	18 750	17 020	49 130	108 150	243 460	1.152	
1999	62 250	20 530	14 290	75 980	102 830	277 370	1,137	
2000	56 940	21 430	16 050	19 100	141 840	256 460	1,160	
2001	65 500	43 000	17 940	56 620	150 660	333 820	1,230	
2002	56 580	23 750	23 230	39 220	150 660	295 330	1,229	
2003	65 100	21 500	23 440	58 870	148 930	320 200	1,215	
2004	62 500	16 670	11 190	52 510	106 380	249 850	1,155	
2006	73 210	22 500	12 770	51 620	133 820	294 720	1,190	
2007	78 240	24 480	17 520	40 080	164 640	323 530	1,227	
04.2009						165 000		[52]

04.2010						148 000		
06.2010						128 000		
2010	42 800	6 490	1 860	9 090	72 200	133 420	1,08	ДП «Калійний завод»
03.2012						108 000		[20]
2013	23 000	3 160	1 605	8 490	37 860	77 130	1.05	ДП «Калійний завод»
2018	8 000	2 500	1 300	4 300	12 200	28300		[70]
05.2021	700	5 400	1 500	324	11 340	20 300	0.7	ІФНТУНГ
09.2021	4 500	1 000	0778	3 230	8 440	18 300	4.5	ІПБ АЕС
08.2022 північ	4 250	1 250	760	3 300	8 510	18 500		ІПБ АЕС
08.2022 південь	4 250	1 200	830	3 300	8 400	18 300		ІПБ АЕС
07.2023			679	1 959	8 975	19 600		[99]

Проф. Семчук Я.М. [113], а пізніше його учні [84] експериментально довели, що насичений водний розчин соленосних порід Домбровського кар'єру має мінералізацію 420 000-430 000 мг/дм<sup>3</sup>. Хімічний склад розсолів протягом 40 років варіює у досить широких межах [73]. (табл. 5.2) Враховуючи середнє молярне співвідношення компонентів склад розсолу може бути орієнтовно представлено у вигляді формули:



Варіації вмісту солей спостерігаються у широких межах (77 000—375 000 мг/дм<sup>3</sup>) зі стійкою тенденцією щодо зниження мінералізації починаючи з 2007 р. (табл. 5.2)

Таблиця 5.3.

Варіації хімічного складу розсолів протягом 1968–2007 рр.

Одиниці	K	Mg	SO4	Na	Cl
г×дм <sup>-3</sup>	<u>12,0-43,0</u> 21,3	<u>7,83-27,4</u> 15,8	<u>13,25-113</u> 45,8	<u>48,7-78,2</u> 63,0	<u>86,9-170</u> 131

% від Sum	<u>4,8-12,9</u> 7,8	<u>18,7-34,2</u> 23,3	<u>36,0-66,8</u> 48,2	<u>3,6-7,9</u> 5,7	<u>5,5-30,2</u> 16,5
М/дм <sup>-3</sup>	<u>0,31-1,1</u> 0,55	<u>0,33-1,1</u> 0,66	<u>0,14-1,2</u> 0,48	<u>2,1-3,4</u> 2,7	<u>2,5-4,8</u> 3,7

За головними компонентами води відносяться до хлоридно-натрієвого типу, за класифікацією Курлова – до хлоридно-натрій-магнієвого.

Варіації відносного еквівалентного складу компонентів розсолу протягом 46 років експлуатації кар'єру, в середньому, становлять  $\pm 50\%$  [33] (табл. 5.3.). При цьому відносний еквівалентний склад компонентів розсолу практично не змінювався. (рис. 5.3.)

Таблиця 5.4.

Відносний еквівалентний склад розсолів, мг-екв.%

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
За Курловим	<u>49—85</u> 61	<u>7—20</u> 12	<u>7—40</u> 27	<u>7—38</u> 20	<u>62—93</u> 80
За Питьєвою	<u>24—42</u> 31	<u>3—10</u> 6	<u>4—20</u> 14	<u>3—19</u> 10	<u>31—47</u> 40

Кореляційний аналіз даних, проведений стандартними засобами Microsoft Excel, показав незначну тенденцію щодо зниження концентрацій компонентів розсолу зі зростанням об'єму тіла наповнення кар'єру ( $K_{кор.}$  близько 0,5), та, відповідно, його мінералізації з часом (табл. 5.5.). При цьому спостерігається неістотна тенденція щодо збільшення відносної еквівалентної частки іонів натрію і сульфатів ( $K_{кор.}$  0,13) та зменшення хлоридів ( $K_{кор.}$  0,12) (рис. 5.4) .

Протягом 1968—2007 рр. переважно спостерігалися незначні зміни концентрацій основних іонів. У цей період рівень води у виїмці залишався сталим за рахунок водовідливу, який було припинено у 2008 р. Унаслідок повені фіксується зменшення концентрацій основних іонів між 2007 та 2010 рр. у 1,8-9,4 рази.

Протягом 2010 – 2023 рр. концентрація основних іонів ще зменшились в 2,4-9,4 разів. За період 2018-2022 р. концентрація натрій-іона зменшились майже в два рази (рис. 5.1).

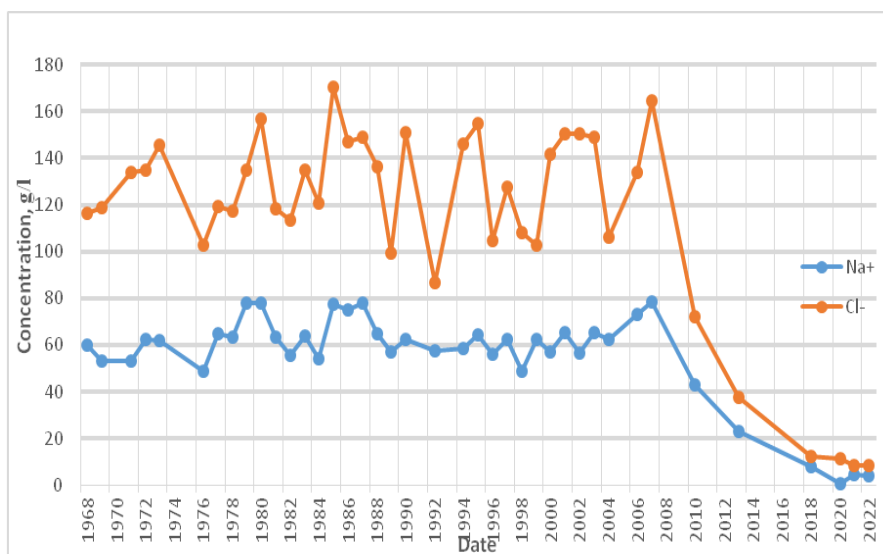


Рис. 5.1. Динаміка концентрації іонів натрію та іонів хлору в пробах поверхневого шару води Домбровського кар'єру

Концентрація хлор-іона, який займає частку в розчині 77 %-екв, та мінералізація за цей же період зменшились в 1,5 рази. Тобто, швидкість зменшення мінералізації за рік становила близько  $400 \text{ мг/дм}^3$  до 2022 р. Проте за останній рік зросла на  $1300 \text{ мг/дм}^3$ . Як було зазначено у табл. 5.1, станом на липень 2023 р. позначка рівня розсолів складала 289 м. У випадку, якщо темп підвищення рівня води в кар'єрі збережеться, то до позначки 295 м (максимальна відмітка заповнення кар'єру) водне дзеркало буде підніматись 3-4 роки, тобто до 2026-2027 рр. Мінералізація за цей період може зменшитись приблизно на  $2000 \text{ мг/дм}^3$  і становитиме приблизно  $16000 \text{ мг/дм}^3$ . Це попередній прогноз. Тому що за один рік (табл. 5.2) по пробах від 09.2021 та 08.2022 р. мінералізація та концентрація основних іонів майже не змінилися, а от за 2023 р. навіть зросла до  $19600 \text{ мг/дм}^3$  [146] (рис 5.2.).

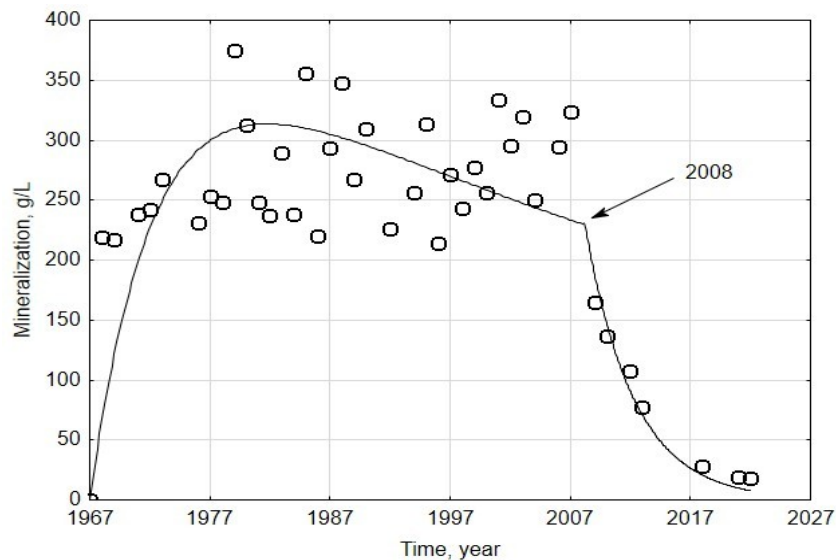


Рис. 5.2. Динаміка мінералізації на поверхні розсолу (авторське моделювання за експериментальними даними ДП «Калійний завод», Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Установа «ГІРХІМПРОМ», ДУ «Радіоекологічний центр ім. України НАН України», ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

За наявними даними спостерігається зменшення динаміки опріснення поверхневого шару води в гірничій виїмці. Для виявлення чіткої тенденції потрібні подальші спостереження.

Проте при підвищенні рівня води в кар'єрі вище рівнів підземних вод (на 2022 р. – 291,5 м) розсоли кар'єру стануть значним джерелом забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту, який є єдиним джерелом питного водопостачання м. Калуш та інших сіл.

Спостережувана тенденція зниження мінералізації поверхневого шару розсолів з часом та зі зростанням їх об'єму з високою достовірністю ( $R^2 \sim 0,9$ ) описується експоненційною залежністю вигляду:

$$S = a \cdot e^{-k(t,V)}, \quad (5.2)$$

де  $S$  – мінералізація розсолу,  $г \times дм^{-3}$ ,  $k$  – константа, яка характеризує динаміку процесу формування хімічного складу протягом певного часу (точка 2007 р. відповідає 1 на осі абсцис, рис. 5.5 а) або зі зростанням об'єму розсолу (шкала осі

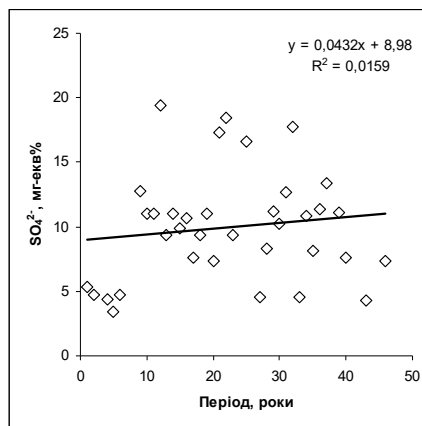
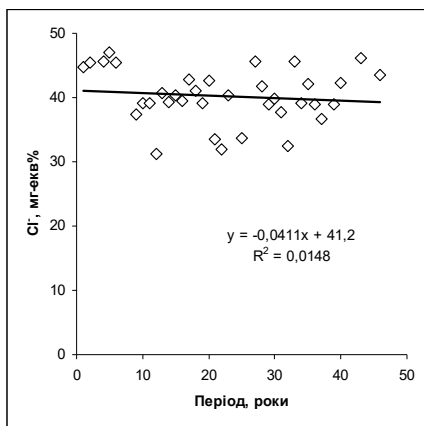
абсцис у млн. м<sup>3</sup>, рис. 5.5 б) та має відповідну розмірність рік<sup>-1</sup> та м<sup>-3</sup>. Параметри рівнянь наведено на графіках (рис. 5.5). Аналіз цих кривих дає підстави для висновку, що мінералізація розсолу в період досягнення найнижчої відмітки підшови водоносного горизонту (+277 м) становила 50-60 г×дм<sup>-3</sup>. Розрахунковий прогноз свідчить, що ця подія відбулась протягом 2015—2016 рр. при досягненні об'єму розсолу близько 22 млн. м<sup>3</sup> [74].

Таблиця 5.5.

Результати кореляційного аналізу даних

	K, mg- eq/l	K, mg-eq. %	Na, mg- eq/l	Na, mg- eq.%	Mg, mg- eq/l	Mg, mg-eq. %	SO <sub>4</sub> , mg- eq/l	SO <sub>4</sub> , mg-eq. %	Cl, mg- eq/l	Cl, mg-eq. %	S, mg- eq/l
K, mg- eq/l	1,00										
K, mg- eq.%	0,90	1,00									
Na, mg- eq/l	0,63	0,35	1,00								
Na, mg- eq.%	-0,61	-0,44	-0,32	1,00							
Mg, mg- eq/l	0,55	0,24	0,50	-0,91	1,00						
Mg, mg- eq.%	0,38	0,16	0,25	-0,95	0,92	1,00					
SO <sub>4</sub> , mg- eq/l	0,23	-0,08	0,48	-0,46	0,65	0,53	1,00				
SO <sub>4</sub> , mg- eq.%	-0,03	-0,25	0,22	-0,27	0,40	0,37	0,92	1,00			

Cl, mg- eq/l	0,82	0,62	0,79	-0,63	0,67	0,50	0,17	-0,17	1,00		
Cl, mg- eq.%	0,00	0,23	-0,24	0,29	-0,41	-0,38	-0,92	-1,00	0,15	1,00	
S, mg- eq/l	0,77	0,46	0,86	-0,73	0,85	0,65	0,62	0,31	0,88	-0,33	1,00
d	0,82	0,59	0,74	-0,67	0,72	0,55	0,26	-0,06	0,94	0,04	0,88
t	-0,04	-0,08	-0,20	0,13	-0,05	-0,12	0,05	0,13	-0,20	-0,12	-0,13
V	-0,30	-0,23	-0,52	0,42	-0,36	-0,40	-0,23	-0,10	-0,48	0,12	-0,49



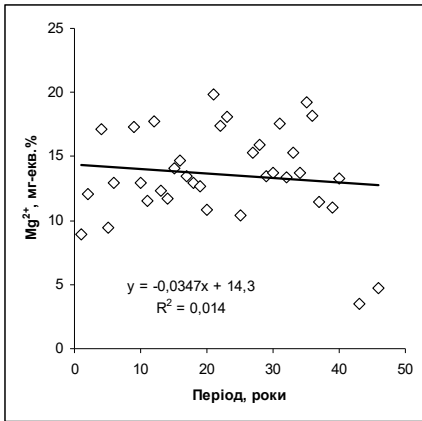
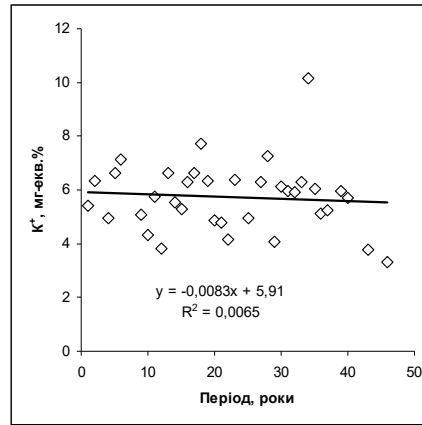
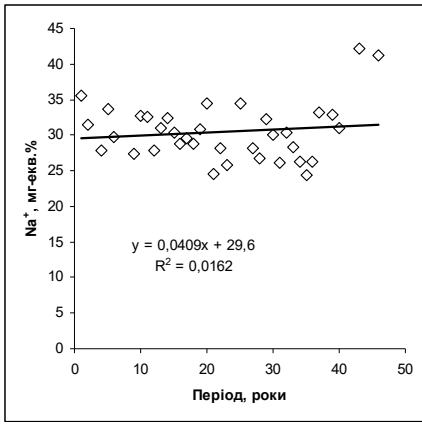
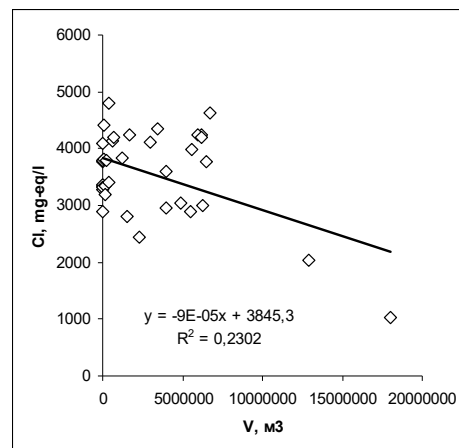
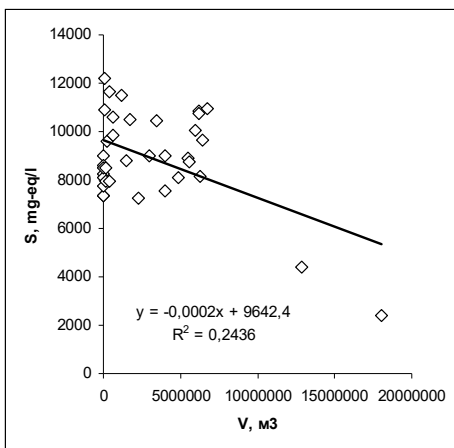


Рис. 5.3. Часова динаміка відносного еквівалентного складу компонентів розсолу.



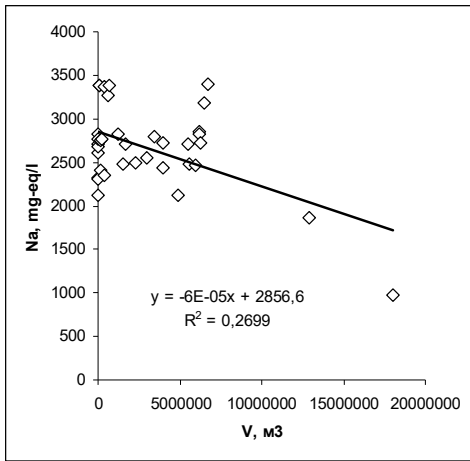
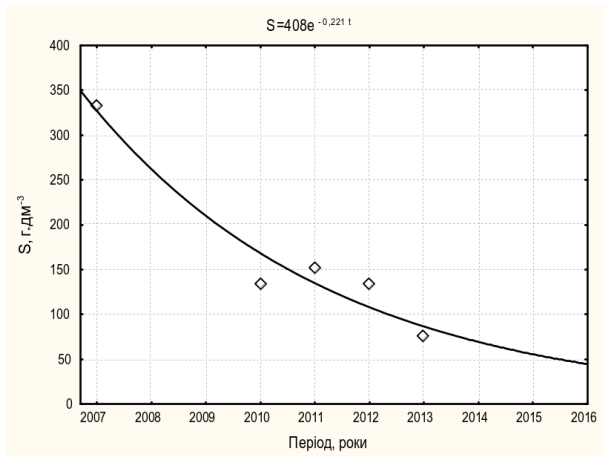
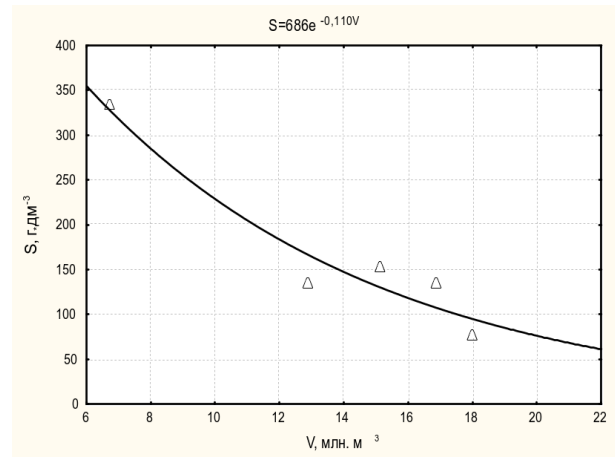


Рис. 5.4 Регресійні залежності між концентрацією компонентів та об'ємом розсолу



а



б

Рис. 5.5. Динаміка мінералізації розсолу протягом попередніх років формування його хімічного складу: а – у часі, б – залежно від об'єму.

У таблиці коефіцієнтів кореляції (табл. 5.5) штриховкою виділено значимі (понад 0,5 по модулю) коефіцієнти кореляції. Білими цифрами на темнішому фоні виділено значення коефіцієнтів кореляції між величинами, що являють певний інтерес для вивчення процесів формування хімічного складу розсолів та прогнозування. Величина коефіцієнту кореляції між рядами даних визначає ймовірність (у частках одиниці) збільшення значення одного параметра при збільшенні іншого (позитивна кореляція) та навпаки, зменшення значення одного параметра при збільшенні іншого (негативна кореляція) [74].

Густина розсолів великою мірою визначається їхнім хімічним складом:  $K_{кор}$  становить 0,72—0,94 для всіх, за виключенням сульфат-аніону, компонентів розсолу (рис. 5.6). Отже, вимірюючи лише густину можна з високою достовірністю прогнозувати хімічний склад розсолів за лінійною залежністю:

$$y = A \cdot x + B, \quad (4.3)$$

параметри якої визначено шляхом регресійного аналізу і наведено в табл. 5.6

Таблиця 5.6

Параметри регресійної залежності між величинами густини та концентрацією компонентів розсолу

Компонент (змінна $y$ )	$A$ , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	$B$ , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	$R^2$
Мінералізація, $S$	38546	-36311	0,77
Хлориди, $Cl^-$	16390	-15666	0,88
Натрій, $Na^+$	8083	-6819	0,54
Калій, $K^+$	3441	-3516	0,67
Магній, $Mg^{2+}$	7761	-7854	0,52

З метою зменшення обсягу аналітичних робіт досить точно хімічний склад розсолів можна визначити також знаючи мінералізацію розсолу;  $K_{кор}$  її величини з величинами концентрацій інших компонентів становлять 0,62-0,86. Параметри регресійної залежності типу (4.3) наведено в табл. 5.7. та на рис. 5.7.

Величини густини і мінералізації розсолів найменше корелюють з величиною концентрації сульфат-аніону, що збільшує похибку експрес-визначення вмісту компонентів. Вміст сульфатів у цьому разі з надзвичайно високою достовірністю розраховується з відносного еквівалентного вмісту хлоридів ( $K_{кор} = -1$ , див. табл. 5.5, 5.8, рис. 5.8 а). Так само з великою достовірністю лінійним трендом описується

залежність між відносними еквівалентними концентраціями натрію і магнію ( $K_{кор.} = -0,95$ , див. табл. 5.5, 5.8, рис. 5.8 б).

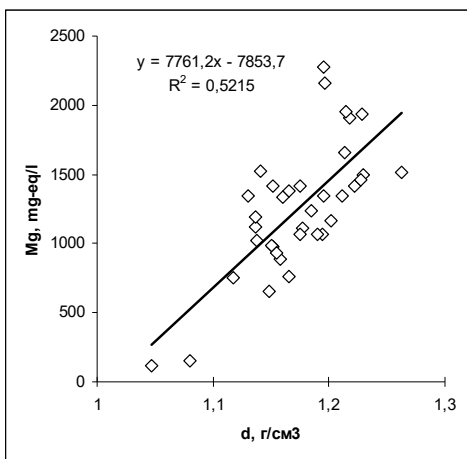
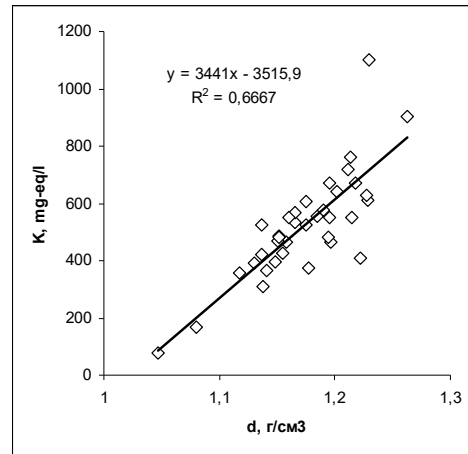
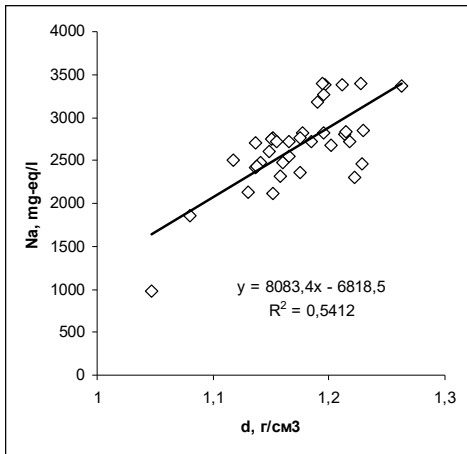
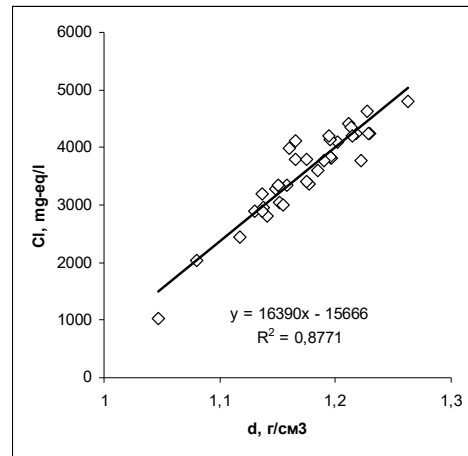
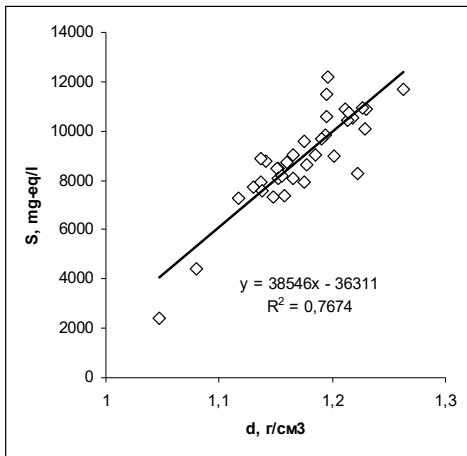


Рис. 5.6. Регресійні залежності між величинами густини та концентрації компонентів розсолу.

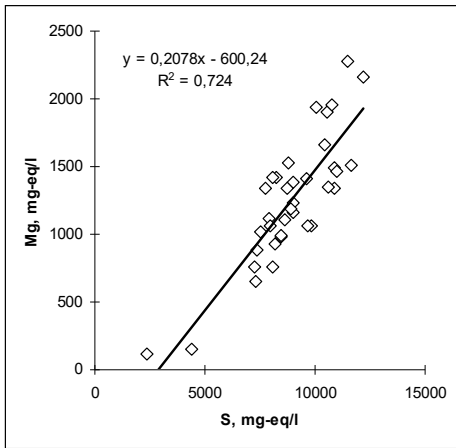
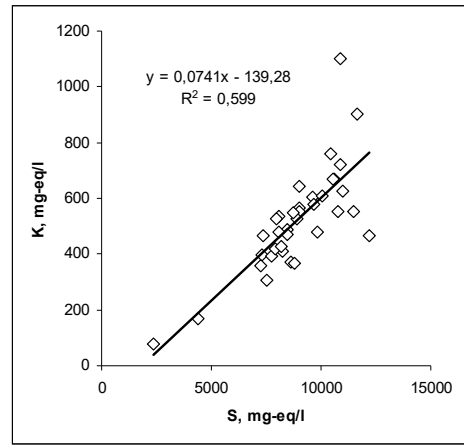
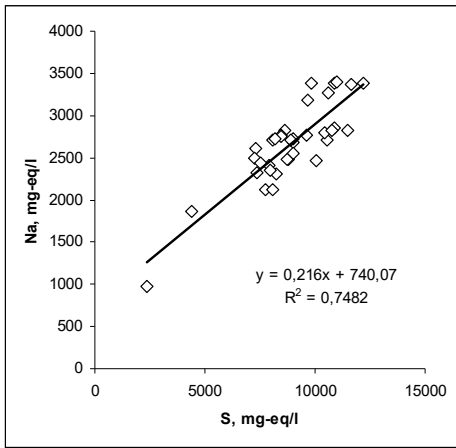
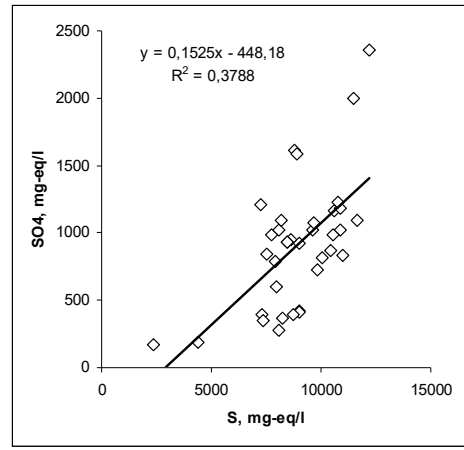
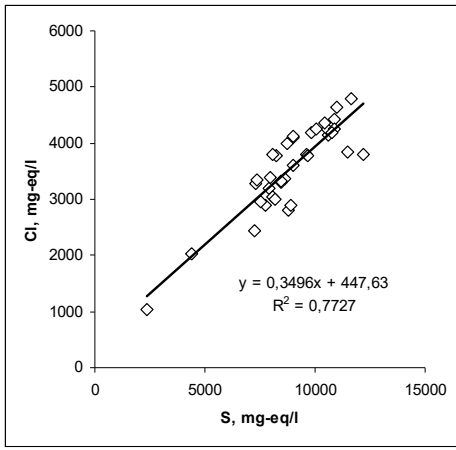
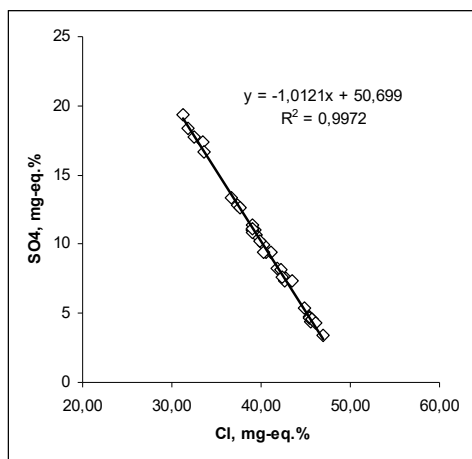
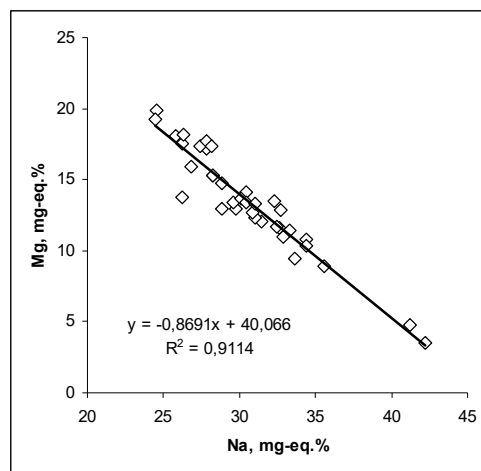


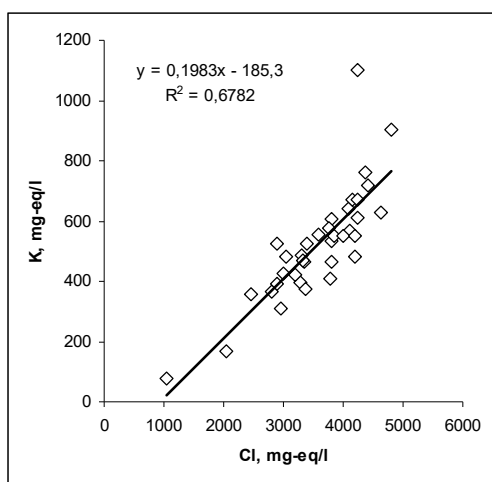
Рис. 5.7. Регресійні залежності між величинами мінералізації та концентрації компонентів розсолу.



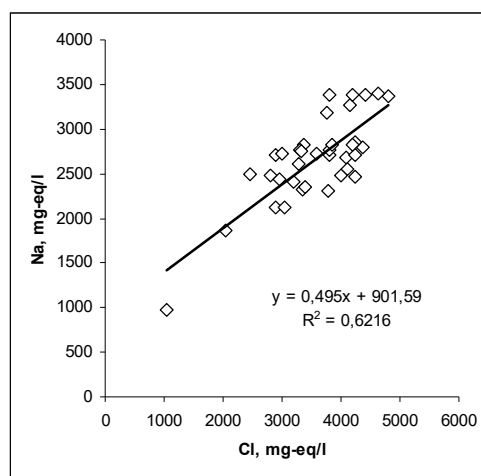
a



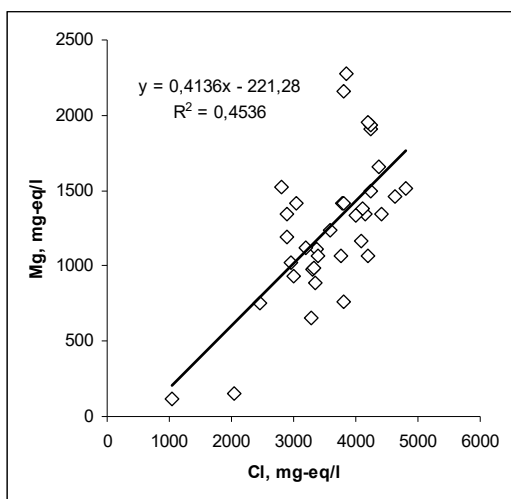
б



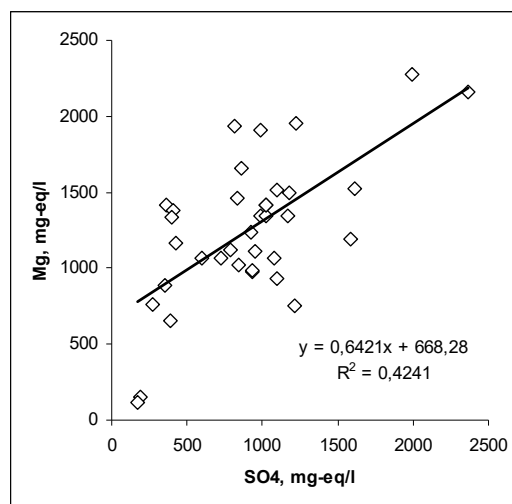
B



Г



Д



e

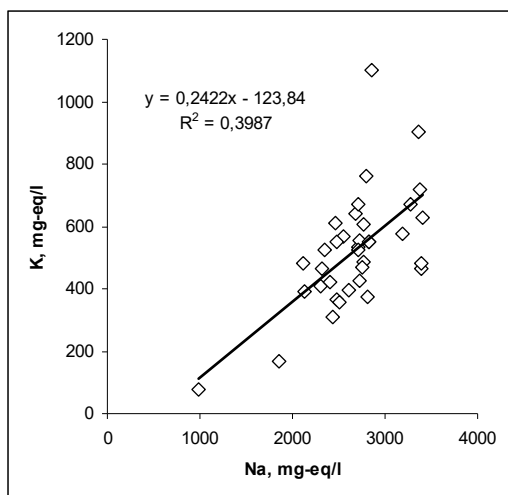


Рис. 5.8. Регресійні залежності між рядами даних зі значимими коефіцієнтами кореляції.

Ж

Таблиця 5.7.

Параметри регресійної залежності між величинами мінералізації та концентрації компонентів розсолу

Компонент (змінна $y$ )	$A$ , мг-екв. $\times$ дм $^{-3}$	$B$ , мг-екв. $\times$ дм $^{-3}$	$R^2$
Хлориди, $Cl^-$	0,350	448	0,77
Сульфати, $SO_4^{2-}$	0,153	-448	0,38
Натрій, $Na^+$	0,216	740	0,75
Калій, $K^+$	0,0741	-139	0,60
Магній, $Mg^{2+}$	0,208	-600	0,72

Значимі коефіцієнти кореляції встановлено між величинами концентрації хлоридів та калію, натрію і магнію ( $K_{кор.}$  0,67-0,82), катіонів магнію та сульфат-аніону (0,65), натрію та калію (0,63) (табл. 5.5, рис. 5.8), що визначається хімічним складом рудного тіла і вмісних порід. Параметри регресійних залежностей наведено в табл. 5.8.

Висока позитивна кореляція між величинами мінералізації, концентрацій основних компонентів та густини розсолів, а також стабільність відносного еквівалентного складу розсолів протягом майже піввікового існування кар'єру свідчить також про те, що формування їхнього хімічного складу визначається переважно процесами розчинення рудного тіла та вмісних порід (галіт), які відбуваються в кінетичній (порівняно швидкій) області.

Таблиця 5.8.

Параметри регресійної залежності між рядами зі значимими коефіцієнтами кореляції

Компонент (змінна x)	Компонент (змінна y)	A	B	R <sup>2</sup>
Cl <sup>-</sup> , мг-екв.%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-екв.%	-1,01	50,7	1,0
Na <sup>+</sup> , мг-екв.%	Mg <sup>2+</sup> , мг-екв.%	-0,869	40,1	0,91
Cl <sup>-</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	0,198	-185	0,68
Cl <sup>-</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	Na <sup>+</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	0,495	902	0,62
Cl <sup>-</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	0,414	-221	0,45
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	0,642	668	0,42
K <sup>+</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	Na <sup>+</sup> , мг-екв.×дм <sup>-3</sup>	0,242	-124	0,40

За результатами досліджень розроблено «Пристрій для експрес-вимірювання мінералізації розчину», який може використовуватися для виробництва електроенергії (патент на корисну модель № 147386) [103].

Корисна модель належить до електрохімії і пристроїв, що працюють з використанням електрохімічних реакцій.

Запропонований пристрій експрес-вимірювання мінералізації розчинів засновано на властивостях водних розчинів проводити електроенергію (електричний

струм). При цьому залежно від концентрації солі в розчині при постійній напрузі між анодом і катодом протікає різний струм, величина якого визначається «солоністю» води. Використання для анода і катода матеріалів з різним по знаку електрохімічним потенціалом, дозволило без зовнішнього електричного джерела, вимірювати струм, що протікає при з'єднанні анода з катодом поза розчином зі зміною сили струму від концентрації солей в розчині.

## 5.2. Залежність фізико-хімічного складу розсолів від притоків води

За даними кореляційного аналізу (див. табл. 5.5) ймовірність залежності між густиною і концентраціями хімічних сполук у розсолі та його об'ємом знаходиться в межах 0,16-0,33 відносно одиниці. За таких величин  $K_{кор.}$  можна говорити лише про тенденції позитивної кореляції. Тобто можна зробити попередній висновок щодо зростання густини розсолу і концентрації його компонентів зі збільшенням об'єму тіла наповнення кар'єра. Позитивна кореляція між зростанням об'єму та концентрації розсолів свідчить про переважання швидкості та об'єму вилуговування солей з бортів кар'єру над швидкістю розбавлення атмосферними опадами та водами ґрунтового водоносного горизонту.

Регресійні залежності між фізико-хімічними властивостями розсолу та об'ємом вод, які вилуговують солі описуються рівняннями (рис. 4.7):

$$[Na^+] = 0.011 \times V + 57.7 \quad (5.4),$$

$$[K^+] = 0.0057 \times V + 18.4 \quad (5.5),$$

$$[Mg^{2+}] = 0.0027 \times V + 14.4 \quad (5.6),$$

$$[Cl^-] = 0.018 \times V + 121.5 \quad (5.7),$$

$$[SO_4^{2-}] = 0.015 \times V + 38.3 \quad (5.8),$$

$$Sum = 0.051 \times V + 251 \quad (5.9),$$

$$d = 4 \times 10^{-5} \times V + 1.161 \quad (5.10).$$

Для формул 5.4–5.10 концентрації компонентів виражаються у  $г \times дм^{-3}$ , густина розсолу — у  $г \times см^{-3}$ , об'єми води — у тис.  $м^3$ . Наведені рівняння є основними для прогнозування хімічного складу розсолів при заповненні кар'єру атмосферними

опадами та водами гравійно-галькового водоносного горизонту на базі багаторічної динаміки складу розсолів [33].

### 5.3. Гідрогеостратиграфічні закономірності формування хімічного складу розсолу

Закономірність розподілу хімічних речовин по глибині тіла наповнення кар'єру відіграє досить велике значення. Для спрощення викладу вважається можливим використання геологічного терміну «стратиграфія» для визначення пошарового розподілу хімічних сполук у водному об'єкті: по аналогії до стратиграфічної палеонтології, стратиграфії донних відкладів у морській геології, стратиграфії кліматичної тощо — використати термін стратиграфічна гідрогеохімія або гідрогеостратиграфія [33].

У цьому підрозділі проаналізовано результати опробування розсолів Домбровського кар'єру по глибині, які проведено ДП «Калійний завод» та НДІ «Галургія» у 1998 р. (до глибини 20 м), 2000 р. (7 м), 2005 р. (50 м), 2006 р. (35 м), 2008 р. (50 м), 2010 (90 м), 2013 (50 м).

Закономірності гідрогеостратиграфічного розподілу хімічних речовин у тілі наповнення кар'єру з високою вірогідністю можуть бути описані рівняннями типу:

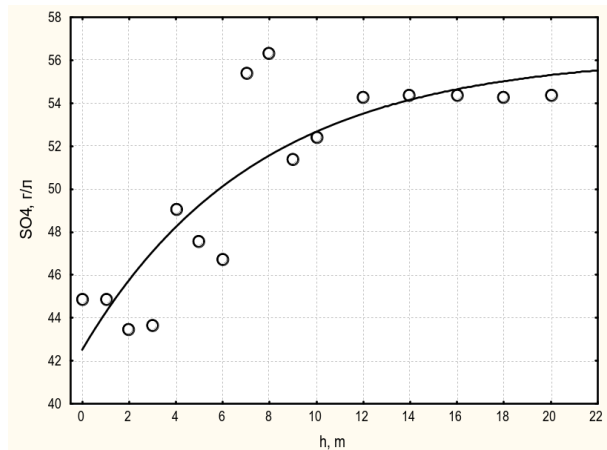
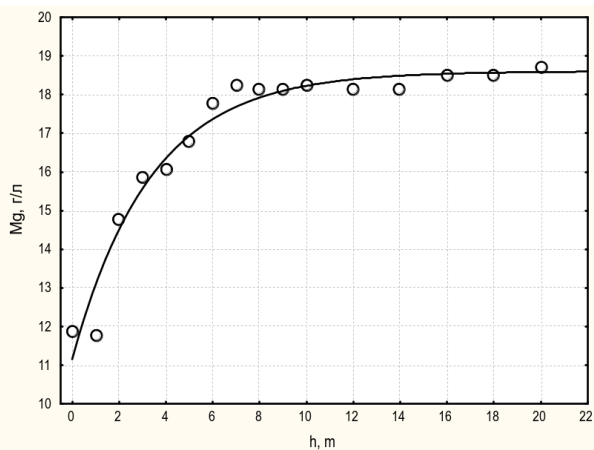
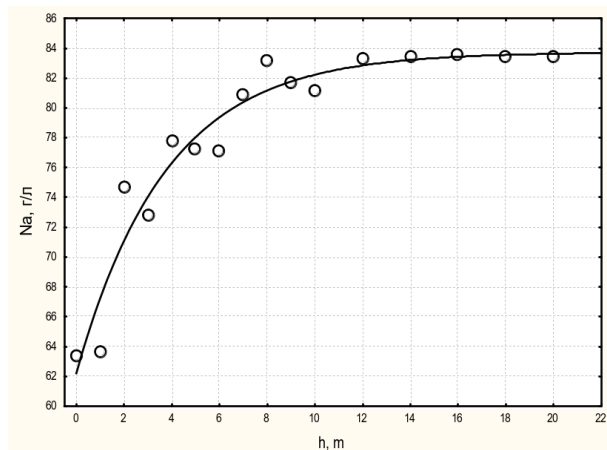
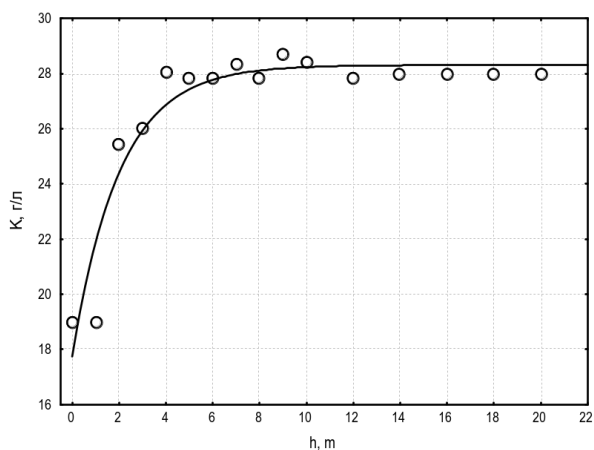
$$C = C_0 + C_1 \times (1 - e^{-k_h h}) \quad (5.18),$$

де  $C$  [г×дм<sup>-3</sup>] – концентрація компонента розсолу у шарі  $h$  [м],  $C_0$  [г×дм<sup>-3</sup>] – концентрація компонента розсолу в поверхневому шарі на час опробування,  $C_1$  [г×дм<sup>-3</sup>] – концентрація компонента розсолу в придонному шарі,  $k_h$  [м<sup>-1</sup>] – константа гідрогеостратиграфічного розподілу компонента, яка визначає характер розподілу (рис. 5.9-5.14; точки опробування розташовані у південній ділянці кар'єру).

Аналіз величин параметрів рівняння 5.18, розрахованих методом ітерації стандартними засобами програми STATISTICA, та зведених у табл. 5.9, свідчить про наявність чітких закономірностей еволюції гідрогеохімічної аномалії забруднення

Домбровського кар'єру. Ці закономірності визначають прогнозування процесів формування хімічного складу розсолів.

Протягом 1998—2013 рр. при наповненні кар'єру спостерігається диференціація вмісту мінеральних речовин (виположування кривих розподілу) по глибині тіла наповнення, зменшення мінералізації поверхневого шару розсолів; при цьому розрахунковий вміст концентрацій у придонних шарах розсолу залишався порівняно стабільним,  $\text{г} \times \text{дм}^{-3}$ : К –  $29,0 \pm 7,3\%$ , Na –  $84,7 \pm 3,7\%$ , Mg –  $21,4 \pm 25\%$ ,  $\text{SO}_4$  –  $68,9 \pm 21\%$ , Cl –  $169 \pm 5,3\%$ , загальна мінералізація –  $382 \pm 11\%$ .



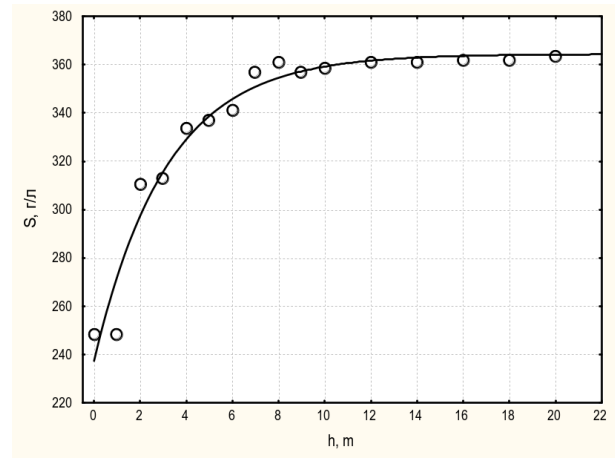
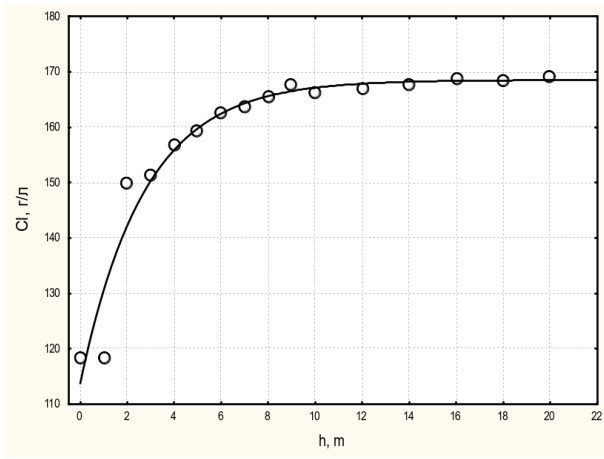


Рис. 5.9. Гідрогеостратиграфічний розподіл компонентів розсолу в 1998 р.

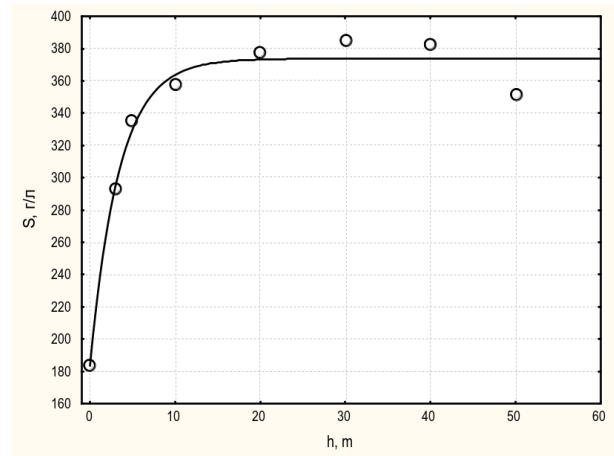
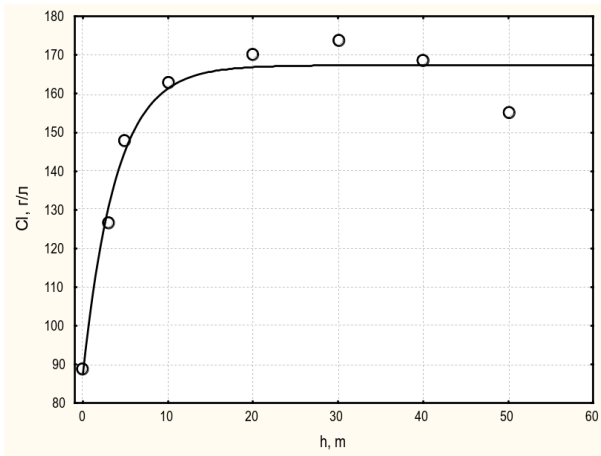
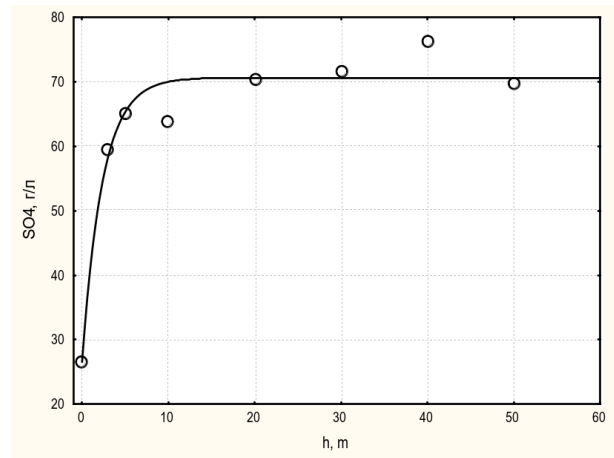
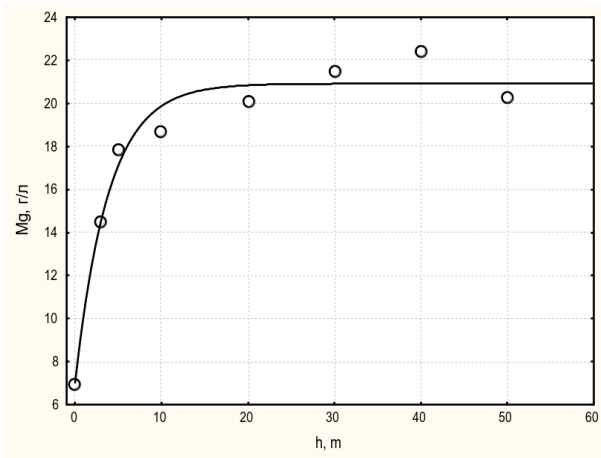
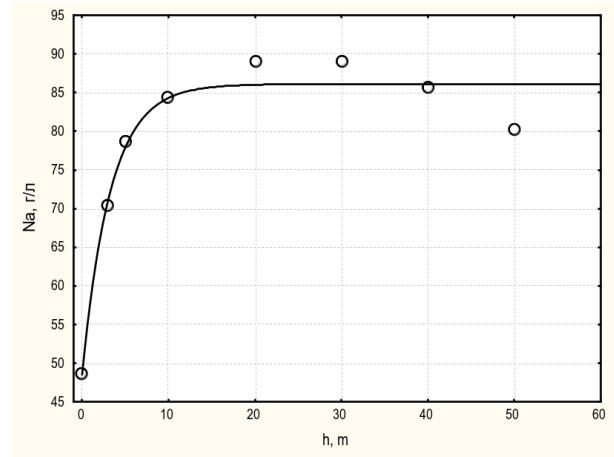
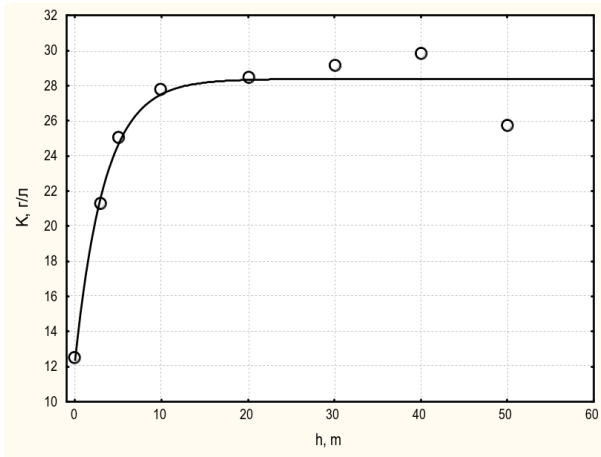


Рис. 5.10. Гідрогеостратиграфічний розподіл компонентів розсолу в 2005 р.

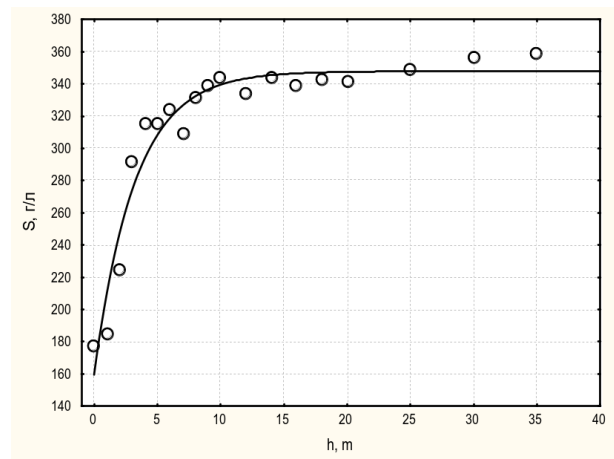
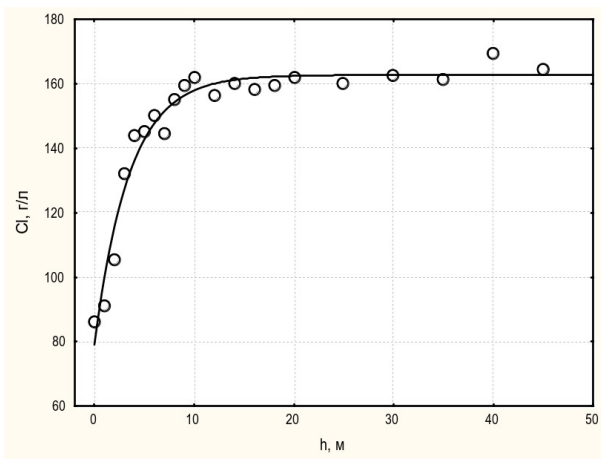
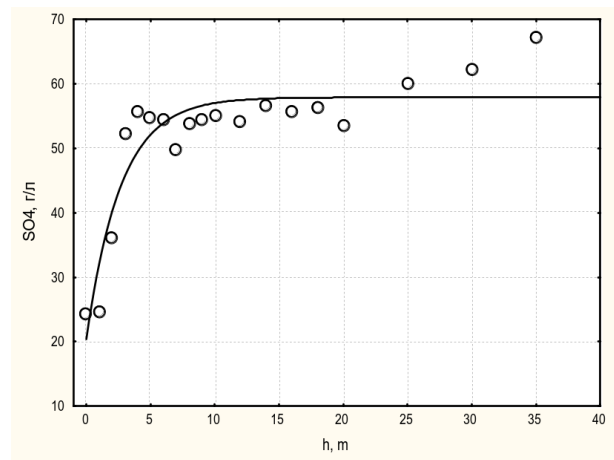
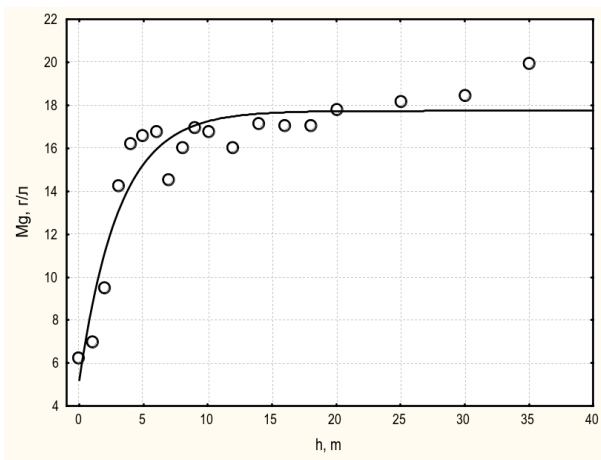
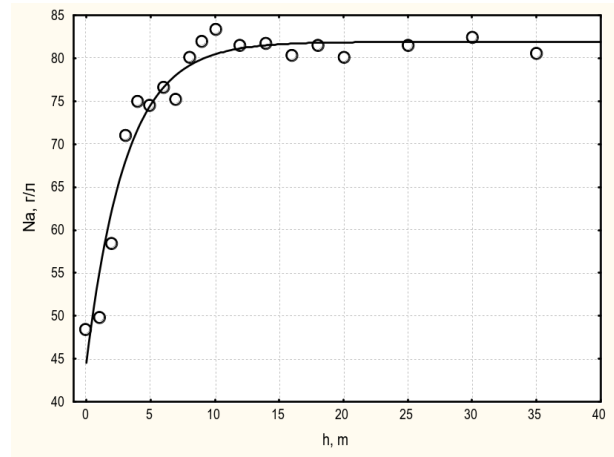
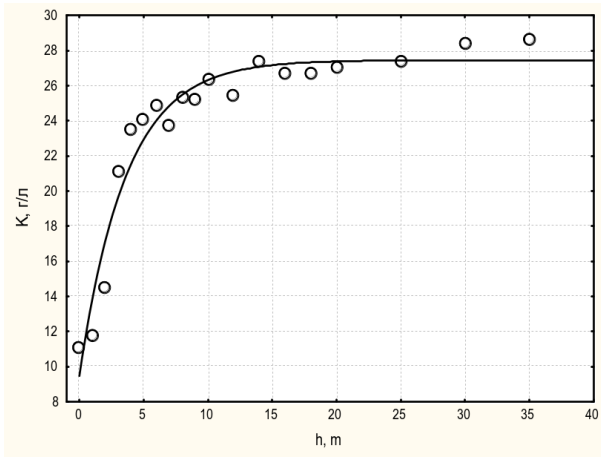


Рис. 5.11. Гідрогеостратиграфічний розподіл компонентів розсолу в 2006 р.

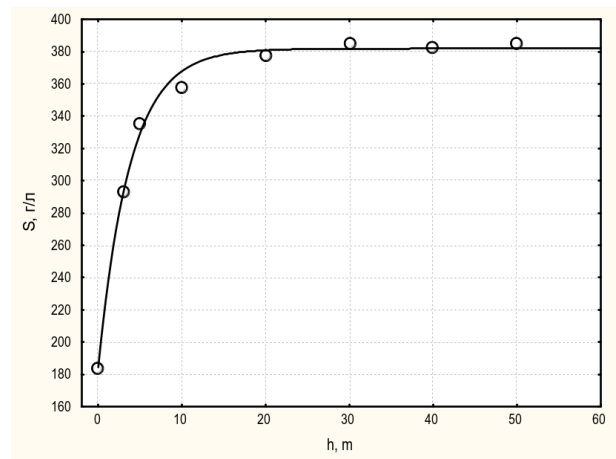
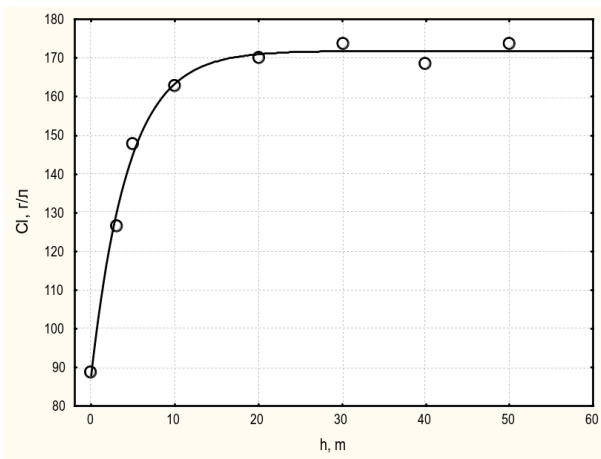
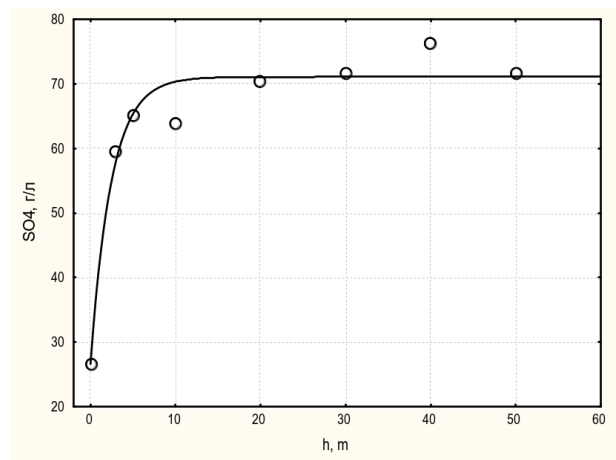
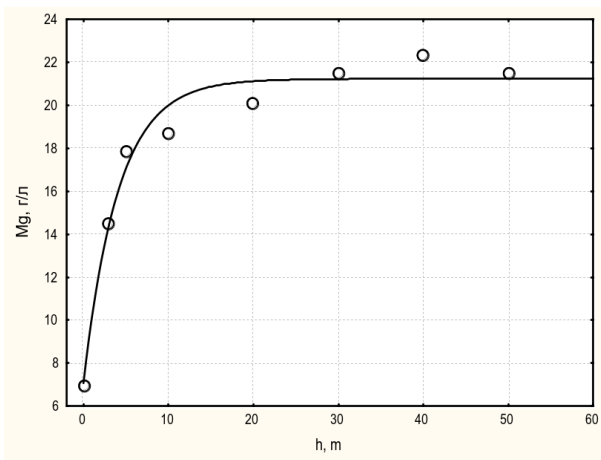
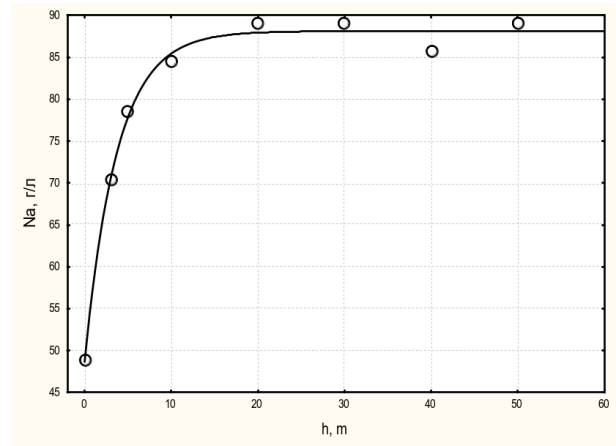
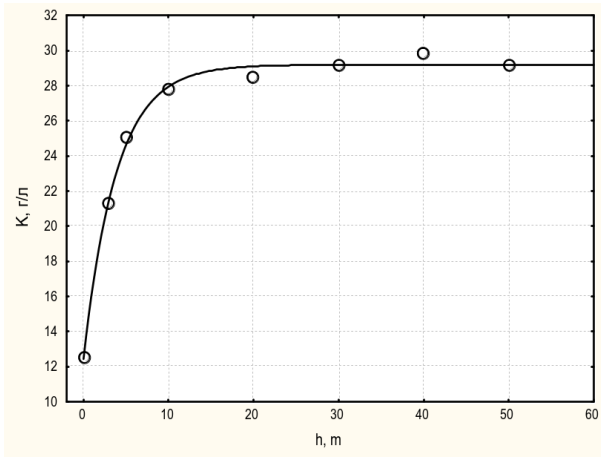


Рис. 5.12. Гідрогеостратиграфічний розподіл компонентів розсолу в 2008 р.

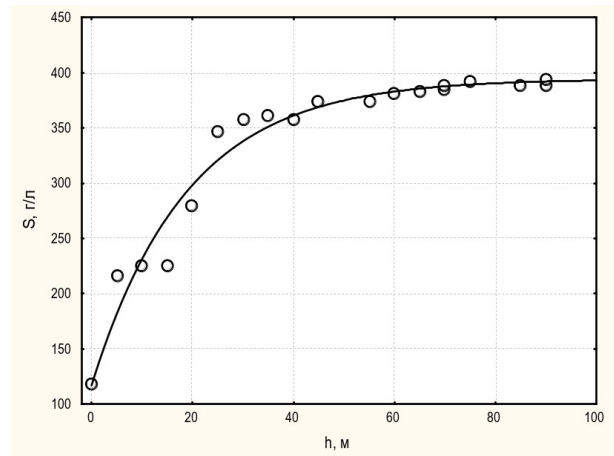
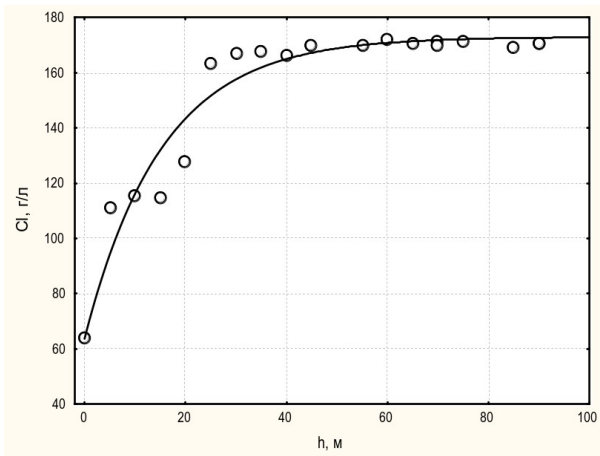
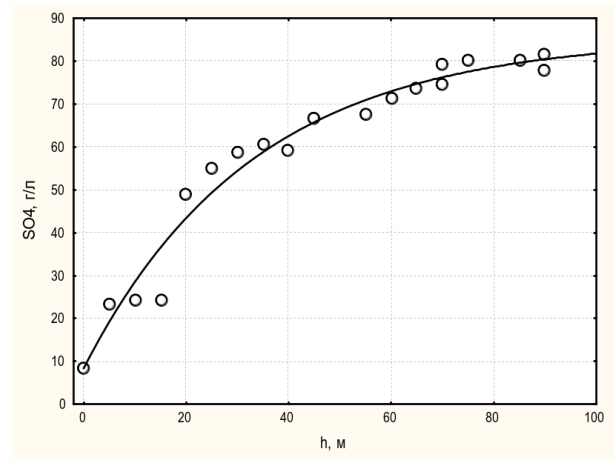
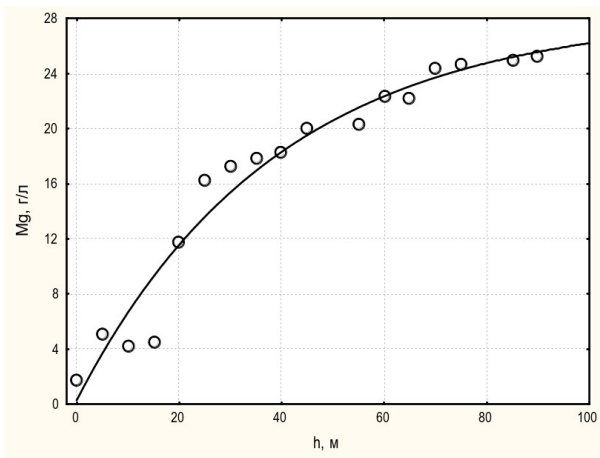
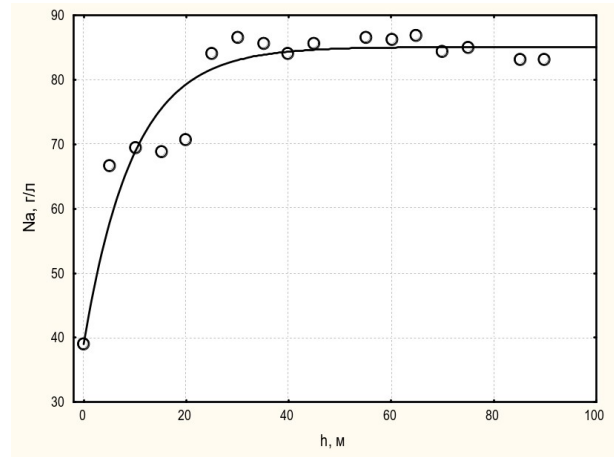
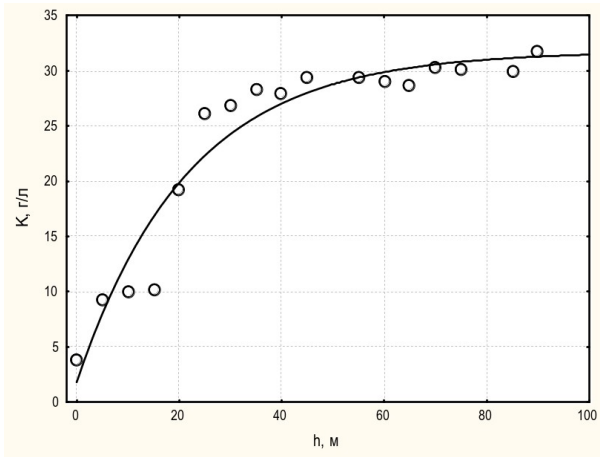


Рис. 5.13. – Гідрогеостратиграфічний розподіл компонентів розсолу в 2010 р.

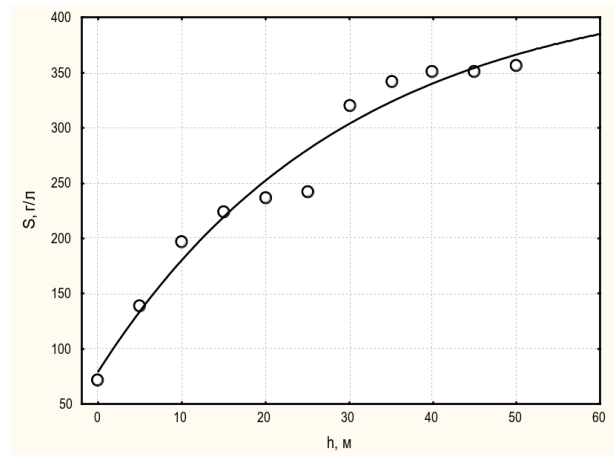
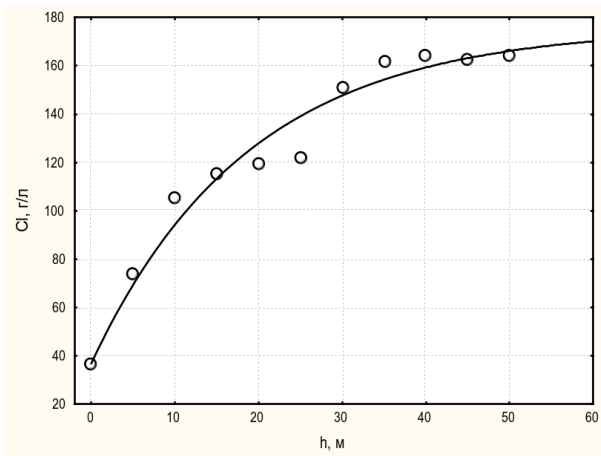
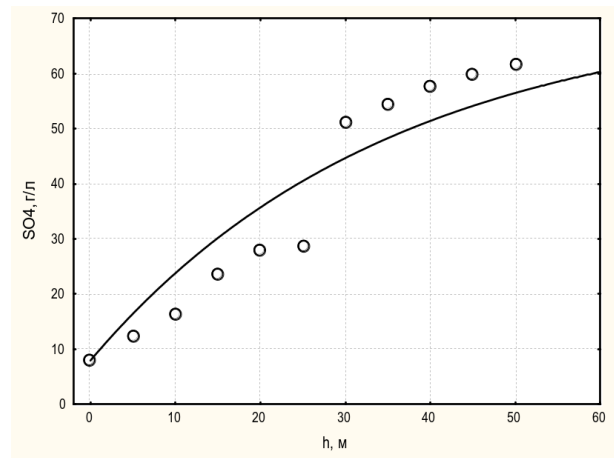
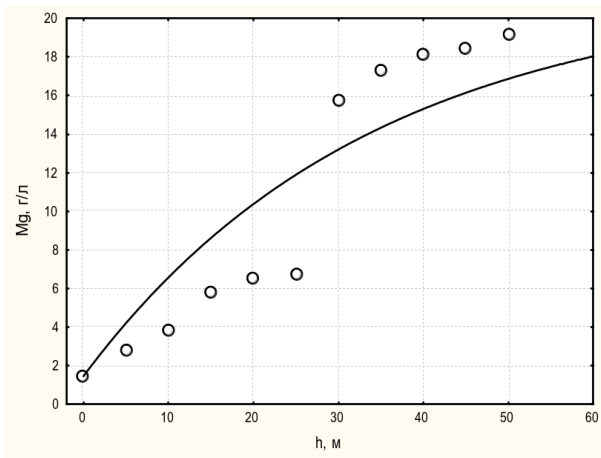
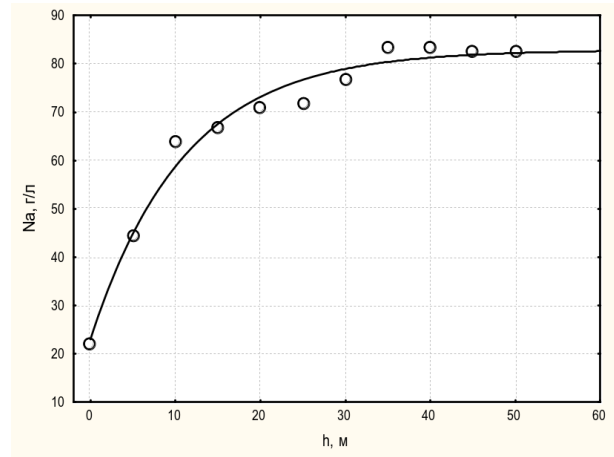
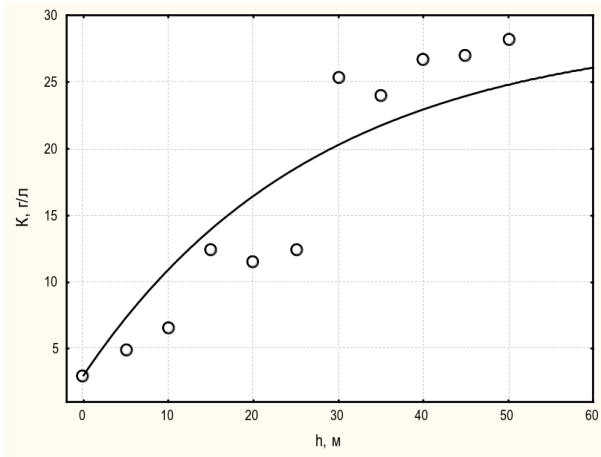


Рис. 5.14. Гідрогеостратиграфічний розподіл компонентів розсолу в 2013 р.

Таблиця 5.9.

Параметри розподілу компонентів у товщі розсолу (рівняння 5.18), розраховані за результатами опробувань

Рік опробування	Параметр	K	Na	Mg	SO4	Cl	S
1998	$C_0, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	17,7	62,2	11,2	42,5	114	237
	$C_1, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	10,6	21,6	7,45	13,7	54,8	127
	$k_h, \text{м}^{-1}$	0,497	0,266	0,299	0,135	0,367	0,32
2005	$C_0, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	12,4	48,5	7,02	26,5	87,5	184
	$C_1, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	16	37,6	13,9	44,1	79,8	190
	$k_h, \text{м}^{-1}$	0,292	0,305	0,259	0,424	0,259	0,294
2006	$C_0, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	9,46	44,5	5,21	20,4	81,4	160
	$C_1, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	18	37,4	12,5	37,5	76,4	188
	$k_h, \text{м}^{-1}$	0,276	0,326	0,324	0,373	0,282	0,311
2008	$C_0, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	12,4	48,7	7,07	26,6	87,9	184
	$C_1, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	16,8	39,5	14,2	44,5	84	198
	$k_h, \text{м}^{-1}$	0,259	0,269	0,244	0,41	0,229	0,265
2010	$C_0, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	1,8	39	0,296	8,4	63,7	117
	$C_1, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	29,9	46,1	28,1	77,1	109	277
	$k_h, \text{м}^{-1}$	0,0462	0,104	0,0257	0,0303	0,0654	0,0531
2013	$C_0, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	3	23	1,46	7,95	36,8	79,5
	$C_1, \text{г} \times \text{дм}^{-3}$	26	60	19,9	63,9	139	352
	$k_h, \text{м}^{-1}$	0,0365	0,0909	0,0297	0,0285	0,0533	0,0338

Цією моделлю достовірно описуються процеси, що відбуваються у кінетичній області для Домбровського кар'єру – це процеси розчинення солей. Вище (розд. 3) у період формування водного тіла кар'єру (1968—2013 рр.) з урахуванням значних водно-балансових відмінностей було виділено 2 етапи, умовно розділених повинню 2008 р., коли істотно змінилися параметри швидкості його наповнення. Як наслідок різкої зміни водно-балансових показників на графіках, що характеризують розподіл компонентів розсолу по глибині у 2010 та 2013 рр., на глибинах 16-20 м відслідковується перехідний шар (рис. 5.13-5.14). Наявність цього шару веде до висновку щодо диференціації процесів формування хімічного складу розсолів.

Виположування кінетичних кривих у часі, що характеризується зменшенням величини константи гідрогеоостратиграфічного розподілу, визначає перехід від процесу активного розчинення в квазістабільну рівновагу. Часова динаміка параметра  $k_h$  слугує підставою для прогнозування цієї події шляхом регресійного аналізу, результати якого ведуть до висновку про встановлення прямо пропорційного (лінійного) розподілу концентрацій компонентів розсолу по глибині у 2014—2016 рр.

#### 5.4. Висновки до розділу

Проаналізовано динаміку хімічного складу розсолів поверхневого шару Домбровського кар'єру в період розробки калійної руди та після виведення Калуш-Голинського родовища з експлуатації. Спрогнозовано зміну гідрохімічних умов у гірничій виїмці.

Після повені 2008 р. спостерігається стійка тенденція опріснення води в гірничій виїмці. Станом на серпень 2020 р. мінералізація поверхневого шару становила 18 300 мг/дм<sup>3</sup>, 07.2023 р. – 19 600 мг/дм<sup>3</sup>. Проте до 2022 р включно мінералізація щороку знижувалася. Швидкість зменшення мінералізації за рік становила близько 400 мг/дм<sup>3</sup>. Отже, при збереженні темпу наповнення води у кар'єрі до максимальної позначки 295 м у 2027 р., мінералізація поверхневого шару становитиме близько 16 000-17 000 мг/дм<sup>3</sup>. Визначено, що при підвищенні рівня кар'єрних вод вище рівнів підземних вод (на 2022 р. – 291,5 м) розсоли кар'єру можуть стати значним джерелом забруднення гравійно-галькового питного водоносного горизонту, який є єдиним джерелом питного водопостачання м. Калуш та інших сіл.

Варіації відносного еквівалентного складу компонентів розсолу протягом 46 років експлуатації кар'єру, в середньому, становлять  $\pm 50\%$ . При цьому відносний еквівалентний склад компонентів розсолу практично не змінювався.

Запропоновано експрес-метод визначення хімічного складу розсолів за фізичними властивостями (густиною та мінералізацією) з уточненням розрахованих концентрацій за співвідношенням еквівалентного вмісту компонентів.

Проаналізовано результати опробування розсолів Домбровського кар'єру по глибині, які проведено ДП «Калійний завод» та НДІ «Галургія» у 1998 р. (до глибини 20 м), 2000 р. (7 м), 2005 р. (50 м), 2006 р. (35 м), 2008 р. (50 м), 2010 (90 м), 2013 (50 м). Виділено, що у період формування водного тіла кар'єру (1968-2013 рр.) визначальну роль відігравали процеси розчинення солей, що відбуваються у кінетичній області. Починаючи з 2014 року починається перехід від процесу активного розчинення в квазістабільну систему.

## **РОЗДІЛ 6. ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРАВІЙНО-ГАЛЬКОВОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТУ ІЗОТОПНИМИ МЕТОДАМИ**

У результаті проведеного аналізу робіт (див. розділ 1) встановлено, що вплив об'єктів Калуського гірничодобувного району на забруднення підземних вод визначався переважно на основі загальних міркувань. Дослідження рівнів хімічного забруднення гравійно-галькового питного водоносного горизонту на основі експериментальних даних не проводилися. Зокрема, не було виконано повного комплексу класичних досліджень, що передбачає відбір проб води, лабораторне визначення хімічного, ізотопного та радіоактивного складу, а також подальший аналіз отриманих результатів.

Наприклад, у роботі [26] стверджується: «Північна частина кар'єру з травня 2007 року почала інтенсивно затоплюватись внаслідок попадання засолених вод з дренажних траншей та частково по гальковому горизонту з ріки Сівка». Однак жодних доказів, заснованих на експериментальних даних, не наведено. Тобто, питання надходження води з р. Сівка в північну частину Домбровського кар'єру по гравійно-гальковому водоносному горизонту залишилось відкритим, що унеможливорює наукове обґрунтування заходів зі зменшення проявів карсту на цій ділянці.

За результатами попереднього аналізу (див. розділ 4) та літературних даних, основними потенційними джерелами засолення підземних вод є можливі втрати води з Домбровського кар'єру, хвостосховищ, шламонакопичувачів та акумулюючих ємностей. Крім того, до засолення водоносного горизонту може призводити інфільтрація атмосферних опадів через засолені техногенні ґрунти солевідвалів та дамб. Значне хімічне забруднення підземних і поверхневих вод відбувається в зоні впливу мульд просідання поверхні землі, що утворюється за рахунок хімічної суфозії в ґрунтах чи в результаті осідання порід в підземних гірничих виробках. Унаслідок осідання ґрунтів розсоли, що були поширені на

глибині у гірських породах чи заповнювали порожнини гірничих розробок піднімаються на поверхню та утворюють солоні озера.

З урахуванням вищенаведених потенційних джерел забруднення підземних вод та деталізації гідрогеологічних умов необхідним завданням стало визначення напрямків і рівнів впливу високомінералізованих розсолів та інших джерел хімічного забруднення на гравійно-гальковий водоносний горизонт [148]. Визначення джерел забруднення підземних вод на основі експериментальних даних із використанням ізотопних методів - необхідний етап робіт для дослідження змін гідрогеологічних умов і мінімізації відповідних екологічних ризиків [34, 125, 126].

Як уже зазначалося вище, у вересні 2021 р. було здійснено відбір проб води з 16 спостережних свердловин, розташованих поблизу Домбровського кар'єру. Свердловини обладнані фільтровими колонами з труб ПХВ діаметром 110 мм. Глибина свердловин від 6 до 10 м. Також були відібрані проби із поверхневих природних вод (ППВ) р. Сівки та р. Лімниця і поверхневих техногенних вод (ПТВ) у Домбровському кар'єрі, шламонакопичувачі (ШН) та хвостосховищі №2 (ХС №2). У пробах води визначалися співвідношення ізотопів водню (протію (H), дейтерію (D) і тритію ( $^3\text{H}$ )) та кисню ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ). Розподіл поверхневих вод на ППВ та ПТВ зумовлений тим, що механізми формування ізотопного складу та зв'язки з атмосферою цих вод можуть бути однаковими, а рівні і характер впливу на підземні води є різним.

Аналіз розподілу стабільних ізотопів водню (D/H) та кисню ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) допомагає визначити джерела та умови формування ресурсів підземних вод, їхній взаємозв'язок з атмосферними опадами та поверхневими водами. Лабораторні дослідження з визначення тяжких ізотопів водню (D,  $^3\text{H}$  та кисню ( $^{18}\text{O}$ )) виконувались в ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України» за завданням дисертантки за її участі у пробовідбиранні та пробопідготовці.

## 6.1. Розподіл тритію

Тритій є радіоактивним ізотопом водню з періодом напіврозпаду 12,26 року. У воді тритій знаходиться переважно у вигляді молекул  $\text{H}^3\text{HO}$ , значно рідше – у вигляді молекул  $^3\text{H}_2\text{O}$  або  $\text{D}^3\text{HO}$  [32]. Цей радіонуклід використаний як індикатор потрапляння ПТВ (гірські виробки, шламонакопичувач, хвостосховища та інших) у геологічне середовище з таких причин:

- тритій, як і протій та дейтерій, має "ідеальні" міграційні властивості в оточуючому водному середовищі;

- тритій міститься у поверхневих водах за рахунок надходження з атмосферними опадами [15];

У атмосферних опадах тритій утворюється за рахунок впливу частинок космічного випромінювання, у процесі роботи атомних електростанцій і дослідницьких реакторів, а також залишився після минулих випробувань ядерних зарядів.

Під впливом космічного випромінювання тритій утворюється двома шляхами по реакціях:  $14\text{N}+1\text{n}\rightarrow^3\text{H}+^{12}\text{C}$  і  $2\text{H}+2\text{H}\rightarrow^3\text{H}+1\text{H}$ .

### 6.1.1. Методика визначення тритію та отримані результати

Концентрації ( $^3\text{H}$ ) визначалися методом  $\alpha$ -,  $\beta$ -спектрометричного аналізу.

Визначення ізотопного складу тритію виконувалося наступним чином. У спеціальну поліетиленову віалу, ємністю 20 мл, примішували 8 мл проби досліджуваної води та додавали 12 г сцинтиляційної рідини OPTIPHASE HiSafe 3 виробництва фірми "Perkin-Elmer" для приготування лічильної форми. Суміш ретельно перемішували і проводили вимірювання за допомогою ультранизькофонового рідинно-сцинтиляційного  $\alpha$ - $\beta$ -спектрометра Quantulus 1220-003 виробництва Фінляндії.

Розподіл тритію в підземних та поверхневих водах навколо Домбровського кар'єру наведений в табл. 6.1. та на рис. 6.1

Таблиця 6.1.

*Активність проб у пунктах відбору.*

№ свердловини чи пунктів відбору поверхневих вод	Об'ємна активність $^3\text{H}$ , Бк/л
Підземні води	
9	1,6
10	1,1
11	0,9
12	0,6
13	< 0,5
15	< 1
16	1,5
17	0,8
19	1
24	0,6
124	< 0,5
212	0,7
ППВ	
р. Лімниця	2,5
р. Сівка	< 0,5
р. Млинівка	1,2
ПТВ	
Півн. борт Домбровського кар'єру	2,5
Пд. борт Домбровського кар'єру	1,7
КДТ	1,5
ХС	1,6
ШН	2,1

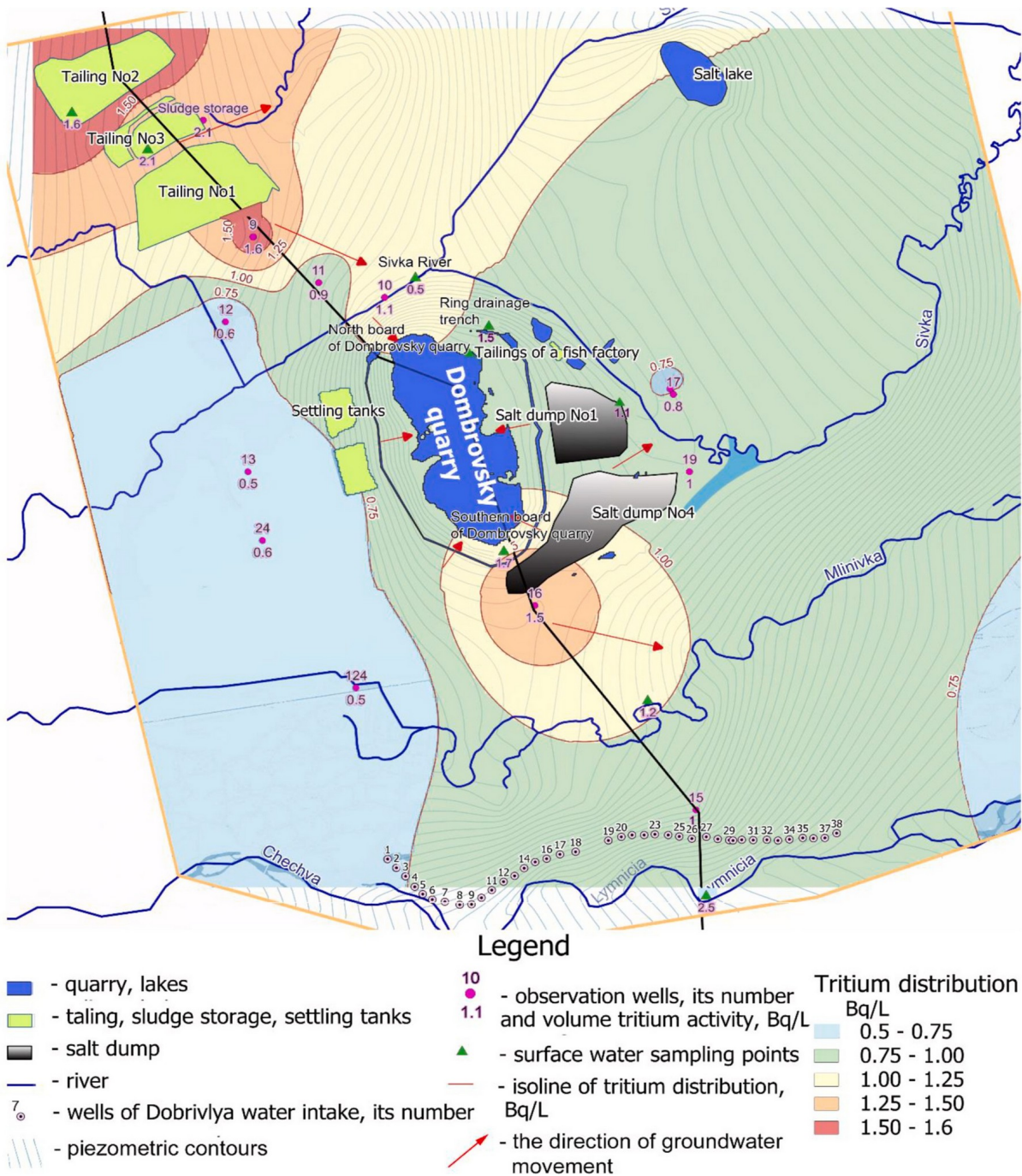


Рис. 6.1. Розподіл об'ємних активностей  $^3\text{H}$  в підземних та поверхневих водах. Карта створена на основі карти гідроізогіпс. Напрямок руху підземних вод показаний стрілками.

Згідно [15], середнє значення концентрації тритію в опадах становить  $3,7 \pm 0,3$  Бк/л, у відкритих джерелах питної води –  $4,3 \pm 1,9$  Бк/л. Як видно з рис. 6.1, природні поверхневі води річок Сівка та Лімниця мають об'ємну активність  $^3\text{H}$  в

межах 0,5-2,5 Бк/л. Концентрація  $^3\text{H}$  у воді ХС та ШН становить 1,6-2,1 Бк/л. Концентрація  $^3\text{H}$  у воді північної частини Домбровського кар'єру – 2,5 Бк/л.

Концентрація  $^3\text{H}$  у підземних водах змінюється від фонових значень 1,1-1,6 Бк/л до рівнів  $< 0,5-0,6$  Бк/л, які характерні для поверхневих природних вод (річок Сівка та Лімниця) та поверхневих техногенних вод (хвостосховища, шламонакопичувача, Домбровського кар'єру та інших). Як видно з рис. 6.1, найбільші значення  $^3\text{H}$  характерні для свердловин № 9, 10, 11, 16, розташованих поблизу хвостосховища, шламонакопичувача та солевідвалів Домбровського кар'єру. Це дає підстави стверджувати, що високі значення концентрації  $^3\text{H}$  у підземних водах формуються під впливом витоків води зі сховищ поверхневих техногенних вод, хвостосховищ, шламонакопичувача та інших [78].

Якщо врахувати значну мінералізацію води в цих сховищах (див. розділ 4), то ореоли поширення підвищених концентрацій  $^3\text{H}$  вказують на джерела хімічного забруднення підземних вод та напрямки їх впливу. Підземні води з відомим ізотопним складом мігрують, тому вплив джерел забруднення за допомогою ізотопного методу можна фіксувати ще до появи в пробах підвищених концентрацій компонентів хімічного складу, які розповсюджуються у водоносному горизонті з деякою затримкою за рахунок сорбційних властивостей ґрунтів.

## 6.2. Розподіл кисню та водню

### 6.2.1. Методика визначення кисню та водню

Визначення ізотопного складу стабільних ізотопів кисню і водню виконувалося з перегнаної води розсолів мас-спектрометричним методом на газових мас-спектрометрах для ізотопного аналізу (Isotope-ratio mass spectrometry (IRMS)) з іонізацією електронним ударом.

Ізотопний склад кисню представлено як  $\delta^{18}\text{O}$ , що являє собою відносне відхилення ізотопних відношень  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  зразка від ізотопних відношень  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  стандарту SMOW і подано у проміле (‰) [114]. Виміри проведені на мас-спектрометрі MI1201SG відносно внутрішнього стандарту KH-2 (Німеччина) [128].

В якості контрольного зразка використано лабораторний стандарт океанічної води 2195. Аналітичною формою слугував вуглекислий газ, який виділявся під час реакції води з гідрохлоидом гуанідину в вакуумованій до  $5 \cdot 10^{-2}$  Па ампулі при температурі  $400^\circ\text{C}$  протягом 8 годин [128]. Довірчий інтервал одиничного виміру  $\delta^{18}\text{O}$  дорівнює  $\pm 0,3\text{‰}$ .

Ізотопний склад водню представлено як  $\delta\text{D}$ , що являє собою відносне відхилення ізотопних відношень  $\text{HD}/\text{H}_2$  зразка від стандарту SMOW і подано у проміле (‰) [100, 114]. Виміри проведені на модернізованому мас-спектрометрі МІ-1201В, який характеризується часткою додаткових іонів  $\text{H}_3^+$  менше 4 р.р.м./пА. Аналізованою мас-спектрометричною формою є молекулярний водень. Вимірювання проводяться щодо внутрішнього стандарту океанічної води 2195; як контрольний стандарт використовується міжнародний стандарт поліетиленової плівки PEF-1 [132]. Урахування впливу іонів  $\text{H}_3^+$  проводилось автоматично (комп'ютерною програмою) за методикою викладеною у роботі [56]. Водень з води добувався у вакуумованій до  $5 \cdot 10^{-2}$  Па ампулі при взаємодії з порошком цинку марки ПЦ-2 при температурі  $450^\circ\text{C}$  на протязі 8 годин [100]. Довірчий інтервал середнього двох вимірювань  $\delta\text{D}$  води становить  $\pm 4\text{‰}$ .

### 6.2.2. Розподіл стабільних ізотопів водню та кисню

Співвідношення стабільних ізотопів водню та кисню в підземних та поверхневих водах показано в таблиці 6.2 та на рис. 6.2.

Таблиця 6.2.

Результати визначення складу стабільних ізотопів водню та кисню в підземних та поверхневих водах.

№ п/п	Індекс проби	№ точки спостережень/ свердловини	$\delta D$ , ‰	Вміст D		$\delta^{18}O$ , ‰
				ат. %	р.р.м	
Поверхневі техногенні води (ПТВ)						
1	867	ШН №3	-40	0,01496	149,6	-10,4
2	868	ХС №2	-35	0,01502	150,2	-6,8
3	869	Кар'єр	-55	0,01472	147,2	-2,6
Середнє значення			-43	0.0149	149.00	-6.6
Поверхневі природні води (ППВ)						
4	871	р. Сівка	-57	0,01469	146,9	-3,2
5	878	р. Лімниця	-65	0,01456	145,6	-9,8
Середнє значення			-61	0.014625	146.25	-6.5
Підземні води						
6	861	3	-80	0,01432	143,2	-10,9
7	862	4	-71	0,01446	144,6	-5,9
8	863	5	-53	0,01475	147,5	-9,9
9	864	6	-67	0,01453	145,3	н. в. *
10	865	7	-78	0,01436	143,6	+2,1
11	866	8	-47	0,01484	148,4	-9,9
12	874	9	-60	0,01464	146,4	н. в.
13	872	10	-56	0,01470	147,0	-9,8
14	873	11	-55	0,01472	147,2	-9,9
15	875	12	-63	0,01460	146,0	-9,6
16	876	13	-54	0,01474	147,4	-10,0
17	879	15	-58	0,01467	146,7	-9,9
18	880	16	-69	0,01450	145,0	-8,5
20	882	17	-56	0,01470	147,0	+2,4
21	881	19	-48	0,01483	148,3	-9,2
22	877	20	-58	0,01467	146,7	-9,8
Середнє значення			-61	0.01463	146.3	-7.8

Примітка: \* н. в. – не визначено

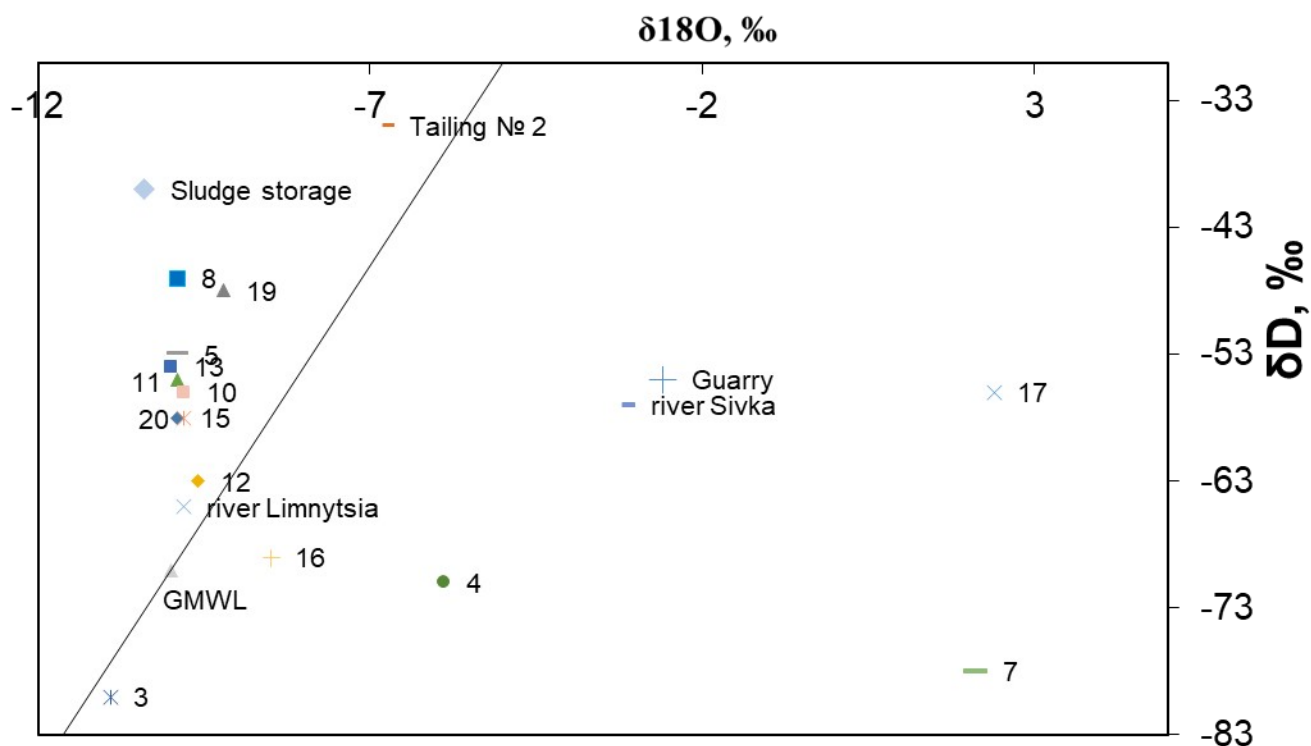


Рис. 6.2. Співвідношення стабільних ізотопів водню та кисню в підземних та поверхневих водах біля Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей.

Як видно з рис. 6.2 та табл. 6.2, для ПТВ хвостосховища (ХС №2) та шламонакопичувача (ШН №3) зафіксовано значне збагачення концентрацій  $\delta D$  за рахунок фракціонування ізотопів при випаровуванні в процесі зберігання у відкритих гідротехнічних спорудах (середнє значення – 43 ‰).

Ймовірно, підземні води по свердловинах №№ 8, 19, 5, 13, 11 та 10, значення  $\delta D$  та  $\delta^{18}O$  яких розташовані ліворуч від лінії Крейга ( $\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10$ ) [130], знаходяться під впливом надходжень води зі скупчень ПТВ. Усі ці свердловини розташовані нижче за потоком підземних вод від скупчень ПТВ. Значення  $\delta D$  та  $\delta^{18}O$  в пробах із р. Лімниця відповідають значенням метеорних вод. Варто звернути увагу, що точки значень  $\delta D$  та  $\delta^{18}O$  в пробах води з р. Сівка та з Домбровського кар'єру на рис. 6.2 знаходяться поруч. Враховуючи побудовану карту гідроізогіпс на рис. 4.1 вода з р. Сівки надходить до підземних вод, які розвантажуються в

північній частині Домбровського кар'єру. Такий результат виглядає логічним. Тобто, ПТВ в північній частині цього скупчення формуються під впливом надходжень води з р. Сівки.

Значення  $\delta D$  та  $\delta^{18}O$  в пробах підземних вод із свердловини №8 вказують на значний вплив на цю ділянку витоків розсолів з ШН №3. Крім співвідношень ізотопів на це вказують і інші фактори:

- відносно підвищена мінералізація води (2 800 – 3 800 мг/дм<sup>3</sup>);
- підвищена концентрація <sup>3</sup>H (8 Бк/л);
- розташування свердловини нижче за потоком підземних вод від хвостосховища та шламонакопичувача.

На ділянці розміщення свердловини № 5 фіксується вплив розсолів мульди осідання на підземні води, що утворилася за рахунок хімічної суфозії в соленосних ґрунтах [141]. У місці формування мульди осідання утворилося солоне озеро (рис. 6.1), в якому внаслідок випаровування відбувається фракціонування ізотопів.

Аналіз розподілу <sup>3</sup>H та даних визначення стабільних ізотопів водню і кисню дає змогу оцінити вплив розсолів ПТВ на підземні води. Спостерігається тісний кореляційний зв'язок між концентраціями дейтерію та тритію (таблиця 6.3, рис. 6.3). Цю кореляцію було визначено методом геохімічної статистики [140].

*Таблиця.6.3.*

Результати визначення концентрацій дейтерію та тритію по спостережним свердловинам

№ свердловини	$\delta D$ . ‰	<sup>3</sup> H. Бк/л
3	-80	5
4	-71	6
5	-53	9
6	-67	6
7	-78	9
8	-47	8
9	-60	9
10	-56	7
11	-55	4
12	-63	10
13	-54	5

15	-58	6
16	-69	5
17	-56	5
19	-48	12
20	-58	6

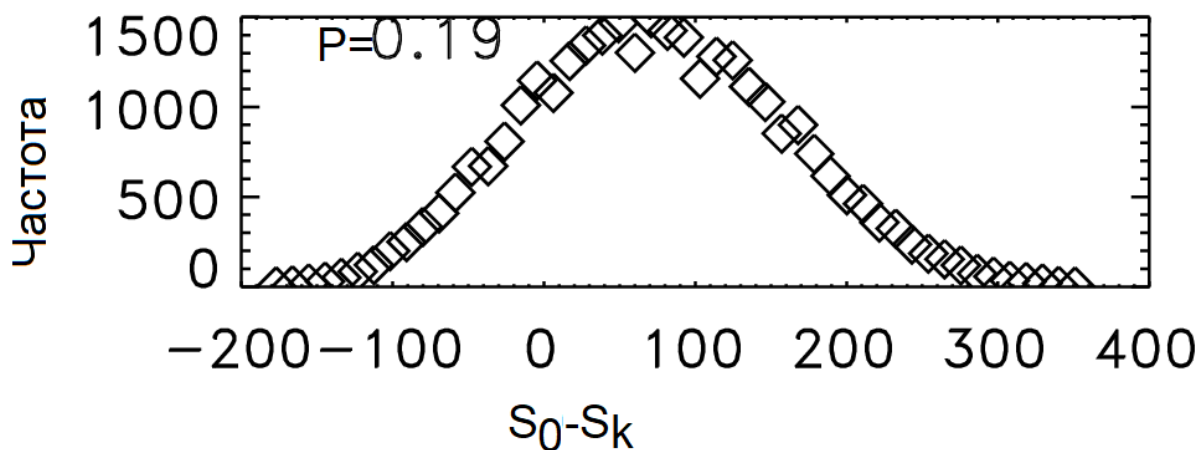


Рис.6.3. Гістограма розрахунку кореляції між концентраціями D та  $^3\text{H}$ .

Як видно з рис. 6.3, значення Р-критерія дорівнює 0,19, тобто коефіцієнт кореляції між концентраціями дейтерію та тритію (К) дорівнює 0,81. Отже, можна стверджувати про наявність тісного зв'язку між цими ізотопами у пробах підземних вод зі спостережних свердловин. Менш тісна кореляційна залежність спостерігається між ізотопами  $^{18}\text{O}$  та  $^3\text{H}$  (табл 6.4 та рис 6.4).

Таблиця 6.4.

Результати визначення концентрацій  $^{18}\text{O}$  та  $^3\text{H}$  у пробах підземних вод

№ свердловини	$\delta^{18}\text{O}$ . ‰	$^3\text{H}$ . Бк/л
3	-10.9	5
4	-5.9	6
5	-9.9	9
7	2.1	9
8	-9.9	8
10	-9.8	7
11	-9.9	4
12	-9.6	10
13	-10	5

15	-9.9	6
16	-8.5	5
17	2.4	5
19	-9.2	12
20	-9.8	6

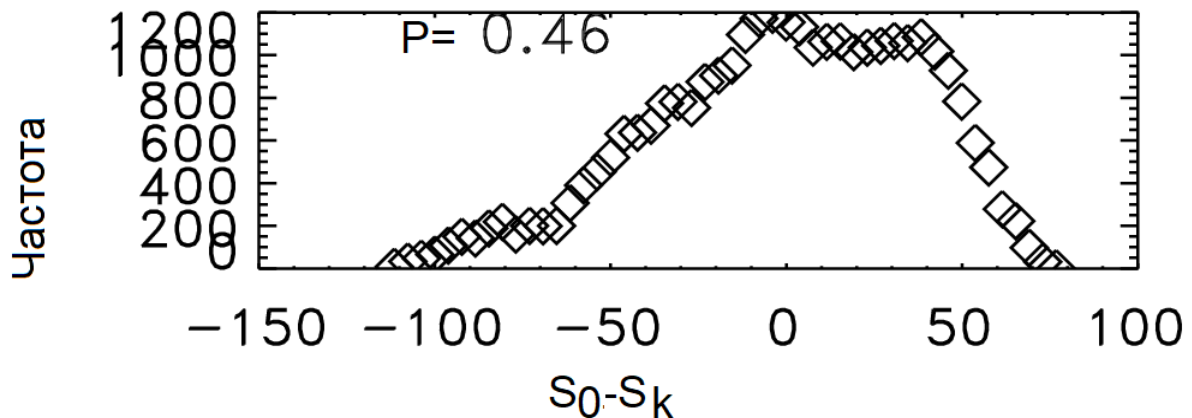


Рис.6.4. Гістограма розрахунку кореляції між даними кисню та тритію.

Як видно з рис. 6.4, значення  $P=0,46$ , тобто  $K=0,54$ . У даному випадку не можна чітко стверджувати про відсутність чи наявність кореляції. Оскільки значення  $K=0,54$  занадто близько до 0,5, то можна сказати, що кореляція присутня з вірогідністю 50/50.

Як видно з рис. 6.5, вплив ПТВ на підземні води на ділянках розміщення свердловин №№ 4, 7, 15 мінімальний. Збагачення ізотопів водню та кисню в пробах підземних вод по свердловині №15 не спостерігається. Також не фіксується підвищена мінералізація по цій свердловині. Враховуючи, що свердловина №15 розташована біля Добрівлянського водозабору питних підземних вод, можна стверджувати, що засолення водоносного горизонту біля водозабору не відбувається.

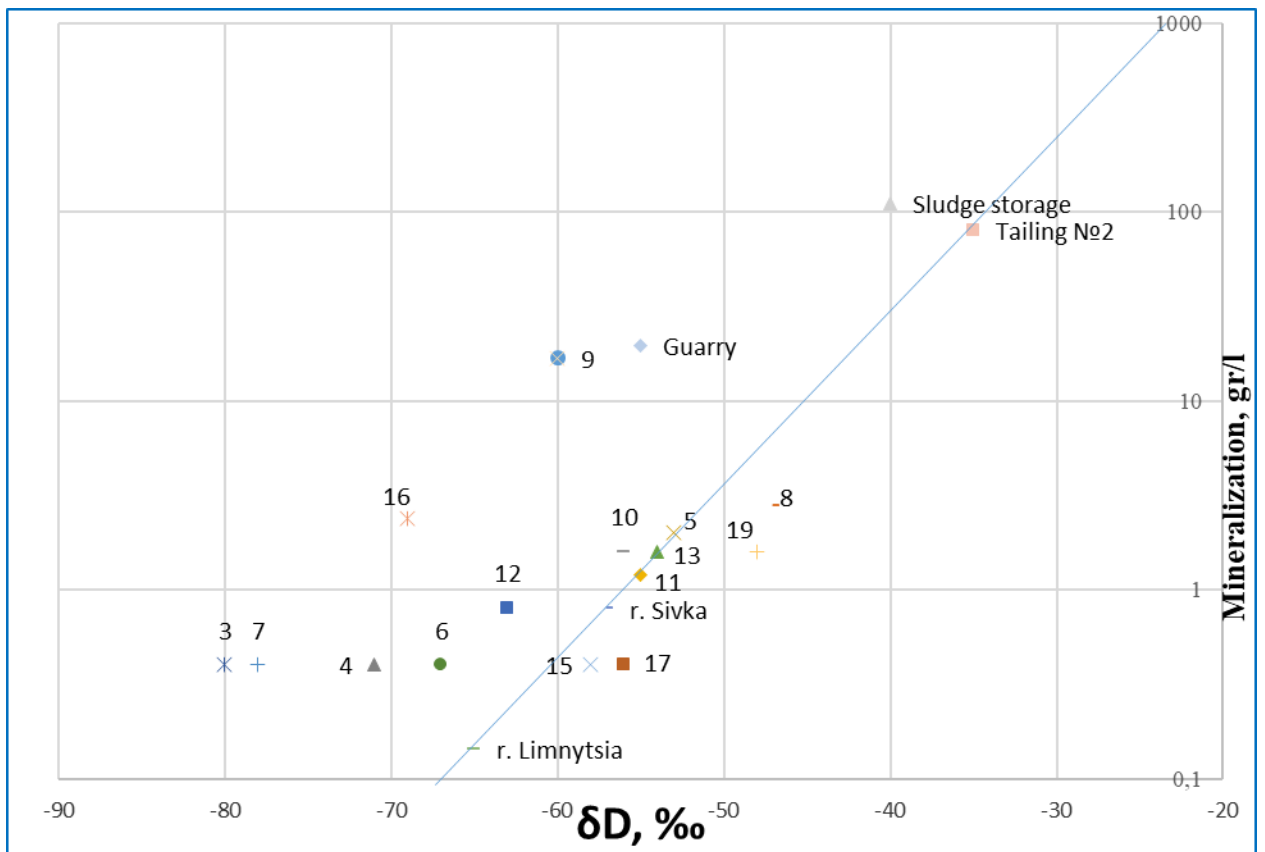


Рис. 6.5. Розподіл концентрацій D та мінералізації в пробах підземних вод із спостережних.

Інша ситуація спостерігається на ділянці розміщення свердловини №16, що розташована вгору за течією підземних вод від Добрівлянського водозабору – між ним та Домбровським кар'єром. Для цієї свердловини характерна підвищена мінералізація (2 400 мг/дм<sup>3</sup>). Але співвідношення  $\delta D$  та  $\delta^{18}O$  близьке до метеороного розподілу, тобто джерелом хімічного забруднення підземних вод на цій ділянці є інфільтрація атмосферних опадів через засолені ґрунти чи солевідвали, а не поверхневі технічні води Домбровського кар'єру, в яких спостерігається збагачення концентрацій  $\delta D$  та  $\delta^{18}O$ . Аналіз джерел забруднення підземних вод буде використано для створення прогнозів просування засолених підземних вод до Добрівлянського водозабору.

Максимальні зміни хімічного складу підземних вод, в тому числі ізотопного, фіксується по свердловинах №№ 5, 8, 9, 10, 11, 13, 16 і 19. Лінія, проведена між

точками, які відповідають результатам хвостосховища та р. Лімниця умовно відображає ступінь впливу поверхневих вод на підземні: від максимального впливу (ШН) до нульового впливу (р. Лімниця).

### 6.3. Висновки до розділу

Поверхневі техногенні води (ПТВ), що зберігаються у відкритих гідротехнічних спорудах, мають збагачені значення стабільних ізотопів кисню  $^{18}\text{O}$  та водню D і  $^3\text{H}$  за рахунок процесу випаровування води. Надходження  $^3\text{H}$  до сховищ ПТВ також відбувається через опади.

Концентрації  $^3\text{H}$  у підземних водах змінюються від фонових значень 1,1-1,6 Бк/л до рівнів  $< 0,5-0,6$  Бк/л, які характерні для поверхневих природних вод (рр. Сівка та Лімниця) і поверхневих техногенних вод (хвостосховища, шламонакопичувача, Домбровського кар'єру та інших).

Встановлено вплив ПТВ хвостосховища № 2 та шламонакопичувача на хімічне забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту (свердловини № 8, 9, 10, 11, 13). Підвищена мінералізація підземних вод за значень  $\delta\text{D}$  та  $\delta^{18}\text{O}$ , що відповідають метеорним водам, вказує на джерела забруднення, що пов'язані не з ПТВ, а з інфільтрацією атмосферних опадів через засолені ґрунти.

Напрямок руху підземних вод та ізотопний розподіл  $^{18}\text{O}$  та D свідчать про те, що поверхневі природні води р. Сівка живлять підземні води, які розвантажуються в північній частині Домбровського кар'єру. Це є важливим фактором для аналізу механізмів карстоутворення на цій території та гідрохімічних умов Домбровського кар'єру.

Суттєвий вплив на мінералізацію підземних вод мають розсоли Соленого озера, що утворилися в місті відстійників (свердловина №5).

Більш висока мінералізація підземних вод у співвідношенні зі значеннями  $\delta\text{D}$  і  $\delta^{18}\text{O}$ , відповідає метеорним водам, свідчить про джерела забруднення, не пов'язані з ПТВ. Встановлено, що значний вплив на хімічне забруднення соляних відвалів № 1 (свердловина 19) та № 4 (свердловина № 16) має інфільтрація атмосферних опадів через солончаковий ґрунт.

Вплив надходження ПТВ зі сховищ у підземні води проявляється в підвищених концентраціях  $^{18}\text{O}$ , D та  $^3\text{H}$  у пробах із спостережних свердловин. Оскільки розповсюдження з підземними водами підвищених концентрацій компонентів

хімічного забруднення відбувається з деякою затримкою за рахунок сорбції ґрунтами, то за ізотопним складом води вплив надходження ПТВ зі сховищ можна фіксувати ще до появи в пробах підвищених концентрацій забруднюючих компонентів.

Результати визначення джерел забруднення підземних вод за допомогою ізотопних методів використані для створення тримірної математичної моделі гідрогеологічних умов в зоні впливу Калуш-Голинського родовища калійних солей.

## РОЗДІЛ 7. ПРОГНОЗ ЗАСОЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ВПЛИВОМ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ КАЛУШ-ГОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ

Використовуючи чисельне моделювання потоку з метою вивчення і управління підземними водами зони дренажного впливу Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища можна спрогнозувати рух підземних вод при рівні заповнення кар'єру до відмітки 295 м [152].

Метою створення математичної моделі гідрогеологічних умов є дослідження напрямку руху забруднених калійними солями ґрунтових вод, визначення впливу на водозабір питної води м. Калуш, прогноз зміни напрямку і рівнів ґрунтових вод при неконтрольованому підвищенні рівня води в Домбровському кар'єрі.

Для досягнення цієї мети було використано дані у масштабі системи геологічних горизонтів, включаючи і водоносний, що простирається на 130,03 квадратних кілометра. Математична модель побудована в програмному забезпеченні Visual Modflow Flex 6.1.

Для збору матеріалу, необхідного для побудови моделі, використовувалися джерела з геологічного фонду, польові дослідження, що включали в себе вимірювання рівня ґрунтових вод, відбір проб на хімічний аналіз. Було побудовано карти поверхні рельєфу, карти залягання покрівлі та підосви галечнику, карту рівня залягання ґрунтових вод у єдиній Балтійській системі висот. Було вибрано межі моделі граничними умовами I роду (р. Лімниця, р. Чечва) на півдні, II роду на сході моделі і III роду на заході (рис.7.1).

Далі накопичену інформацію про досліджуваний об'єкт необхідно було схематизувати для використання в математичній моделі. На момент створення моделі рівень води в кар'єрі становив 287,93 м за абсолютними відмітками у Балтійській системі висот. Карта рівня ґрунтових вод будувалась за даними в спостережних свердловинах досліджуваної території станом на 15.08.2022 рік. Потім необхідно було вибрати математичну модель з узгодженістю сітки, гідродинамічних характеристик та граничних умов. Розмір комірки сітки становить

100,2 x 99,8 м. Всього для обчислення було застосовано 13915 розрахункових комірок. Висота визначалась в моделі за товщиною гідрогеологічного шару.

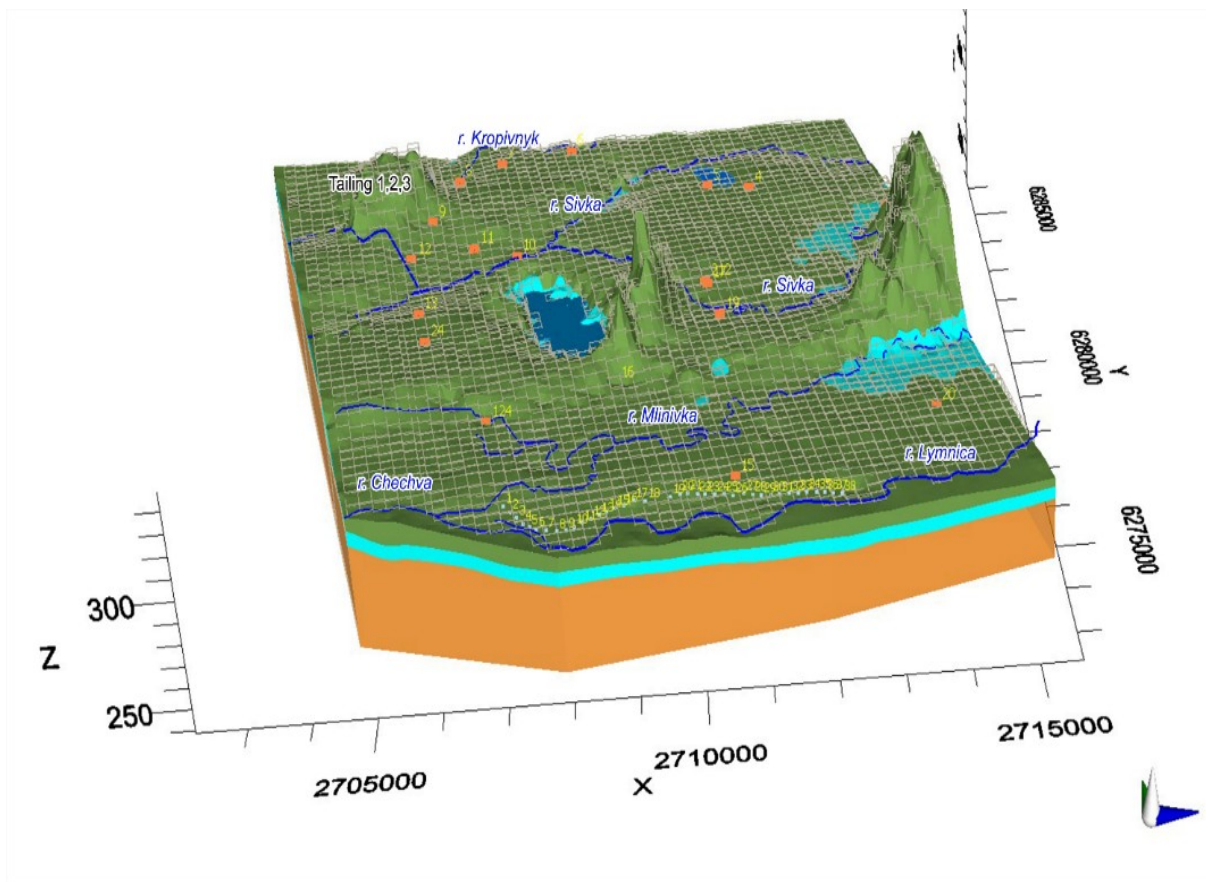


Рис. 7.1. Схема комірок тривимірної моделі фільтрації території району Домбровського кар'єру. Голубим кольором на розрізі показаний гравійно-гальковий водоносний горизонт.

Перший шар моделі представлений суглинком з коефіцієнтом фільтрації 0,7 м/д, другий шар – водоносний складається з гравійно-галькових ґрунтів. Коефіцієнт фільтрації цього шару розрахований по водному балансу Домбровського кар'єру і становить 5,3 м/д (див. розділ 4). Третій шар моделі є водоупором, майже непроникним. Після першого розрахунку відбувається калібрування початкової моделі методом проб і помилок, щоб зрозуміти реакцію моделі на зміни параметрів (рис. 7. 2).

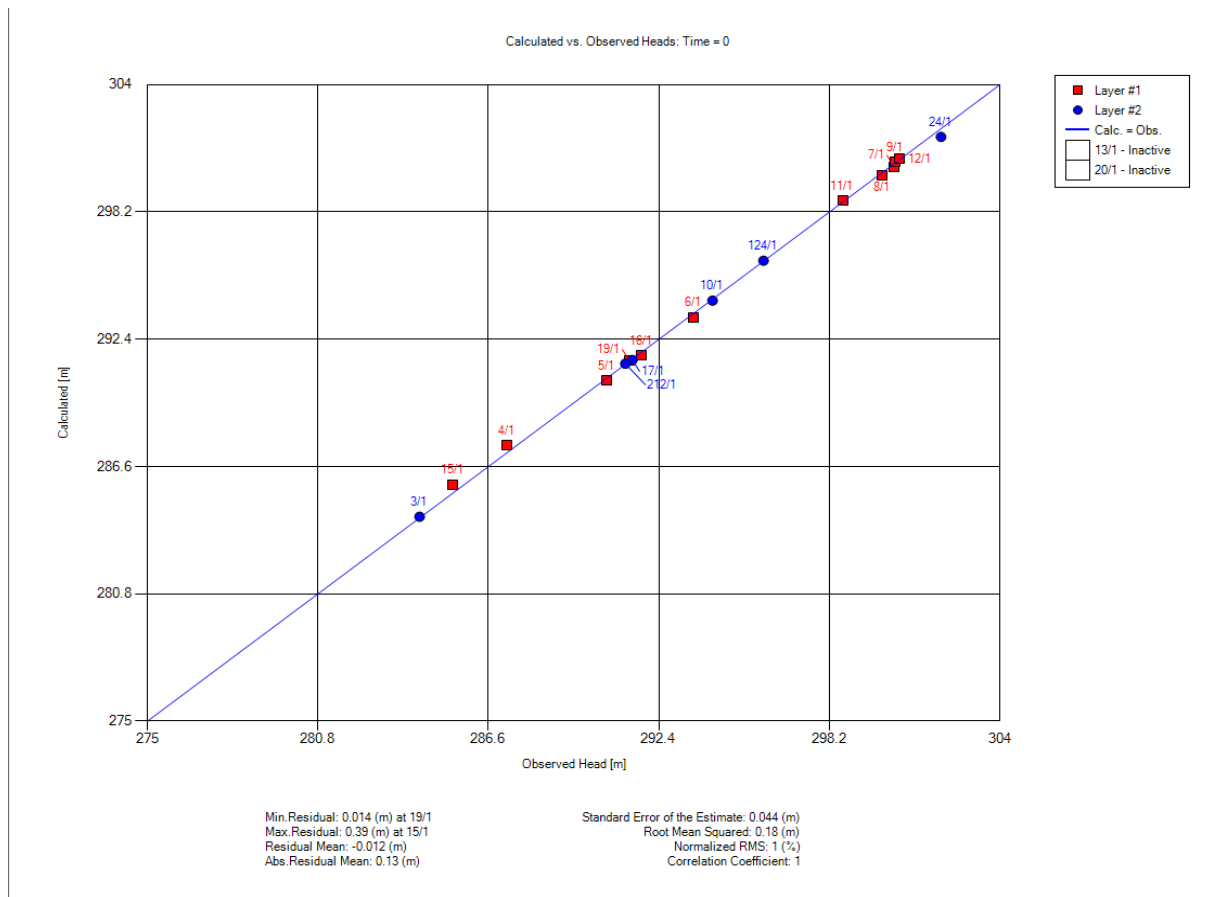


Рис. 7.2. Кореляція даних позначок РГВ із спостережних свердловин та розрахованих за допомогою моделі

Результати калібровки було досягнуто з урахуванням карстових проявів в районі північного боку Домбровського кар'єру і р. Сівка. Після калібровки моделі було задано умови підняття рівня води в Домбровському кар'єрі до можливого максимального рівня – 295 м, і поставлено трассери, які демонструють напрямок і швидкість течії ґрунтових вод за проміжок часу у 40 років.

Розподіл напорів та рівней ґрунтових вод, гідроізогіпс та напрямок векторів швидкості потоку ґрунтових вод станом на 15.08.2022 рік, отримано в результаті розрахунку на моделі, наведено на рисунку 7.3.

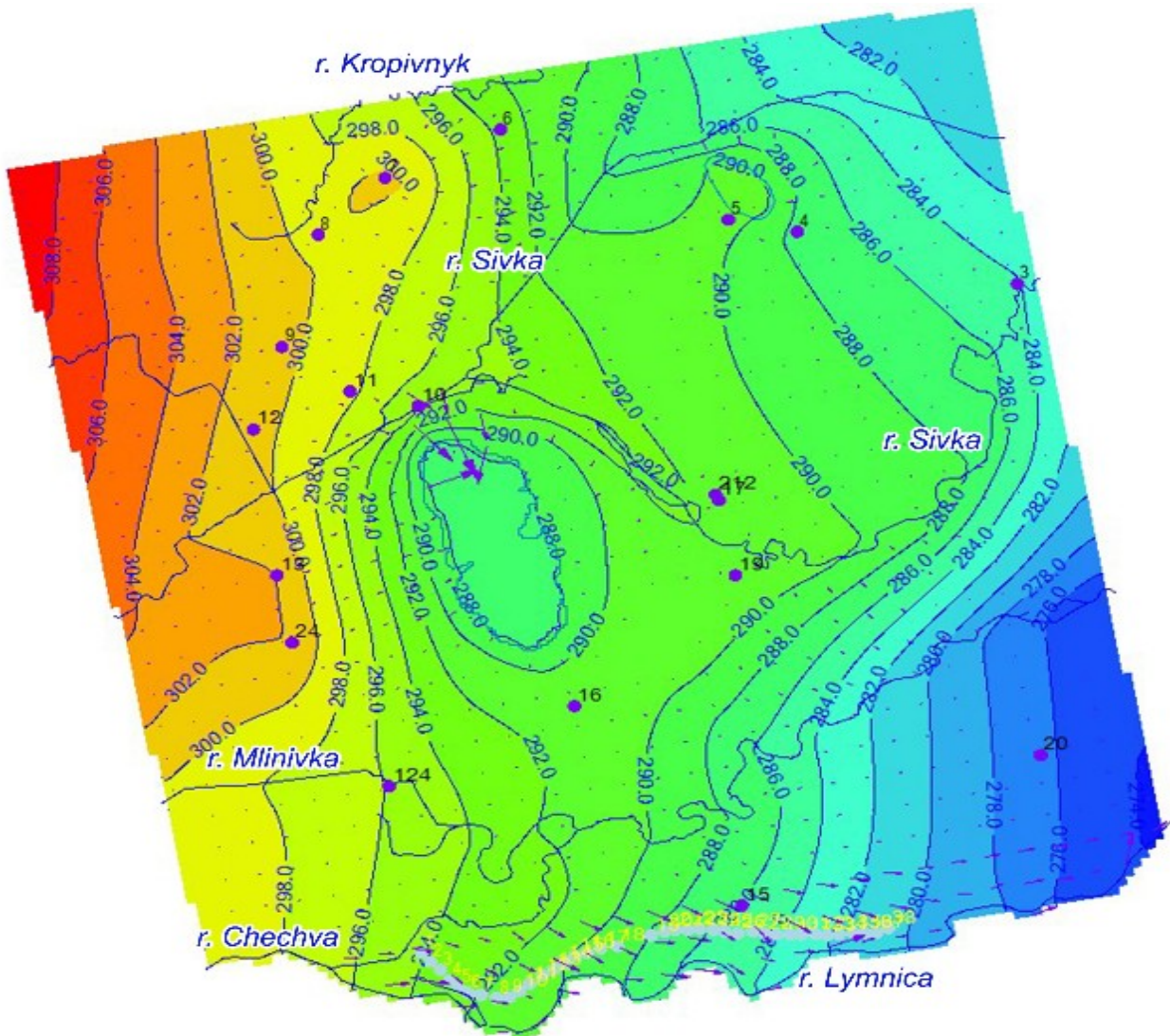


Рис. 7. 3. Гідроізогіпси та вектори швидкості потоку ґрунтових вод.

Найбільша швидкість руху ґрунтових вод спостерігається в районі північного боку Домбровського кар'єру і р. Сівка та в заплаві річки Лімниця, де розташовані водозабірні свердловини Добрівлянського водозабору, що забезпечує м. Калуш питною водою.

За допомогою моделі було розраховано, як буде змінюватись гідрогеологічна ситуація при підвищенні рівня ґрунтових вод в кар'єрі до максимально можливого рівня 295 м і яким буде напрямок і рух часток у підземних водах (рис.7.4).

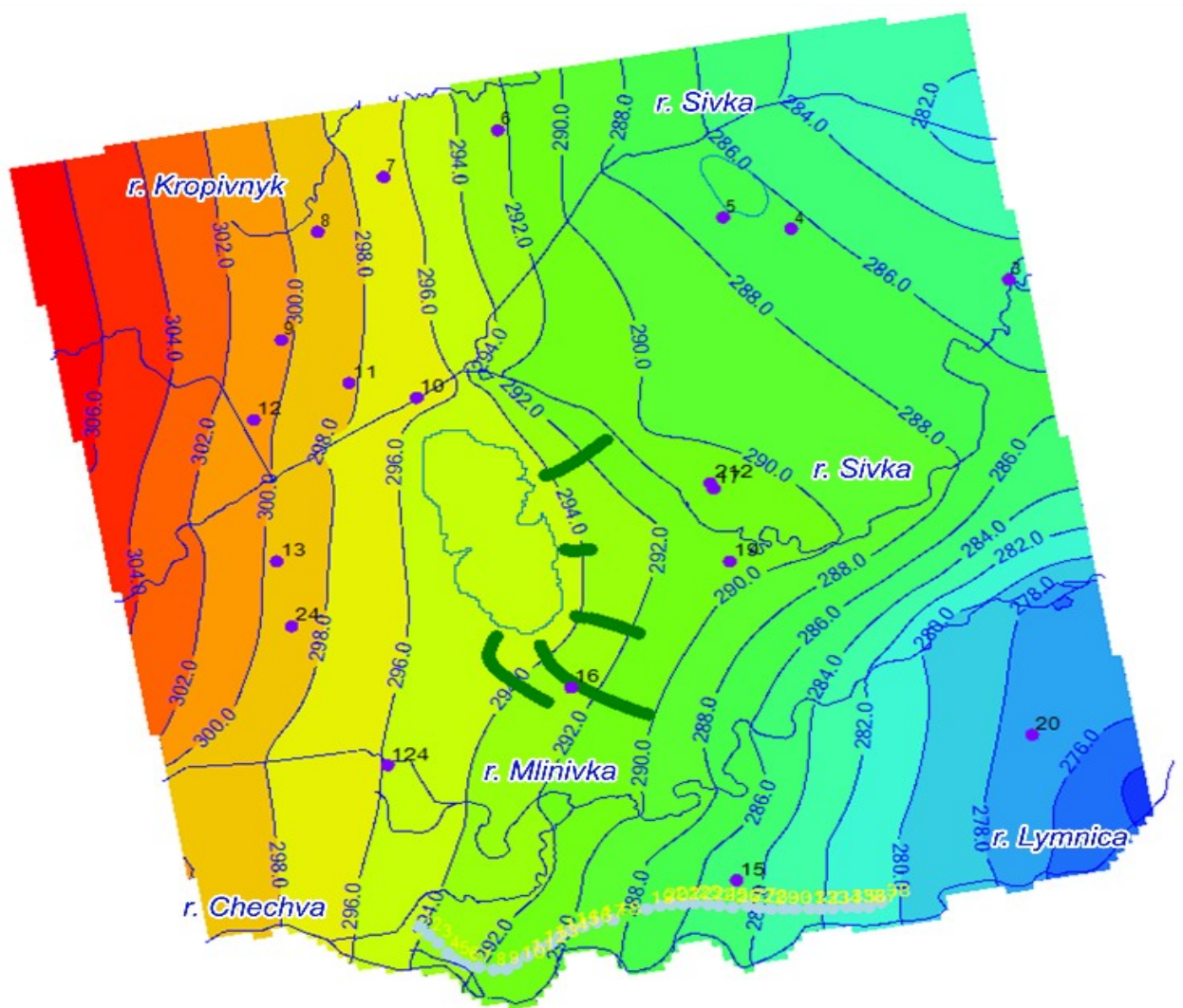


Рис. 7.4. Прогнозна карта гідроізогіпс ґрунтових вод та траєкторія шляхів руху засолених ґрунтових вод під впливом надходження розсолів з Домбровського кар'єру впродовж 40 років.

За розрахунками чисельної геофільтраційної моделі за 40 років найдовший шлях, який подолають частки засоленої води становить відстань біля 600 м (на півдні район розташування спостережної свердловини № 16). Напрямок течії засолених вод не загрожуватиме забрудненню ґрунтових вод в зоні водозабірних свердловин. За допомогою моделі було розраховано зростання мінералізації підземних вод під впливом витоків розсолів з Домбровського кар'єру при рівні води в ньому 295 м. Фактична мінералізації води на водній поверхні кар'єру становить

18 300 мг/дм<sup>3</sup> (станом на 2022 р.) та 19 600 мг/дм<sup>3</sup> (2023 р.), а з глибиною досягає значень 400 мг/дм<sup>3</sup>. Для прогнозів була прийнята мінералізація 20 000 мг/дм<sup>3</sup>

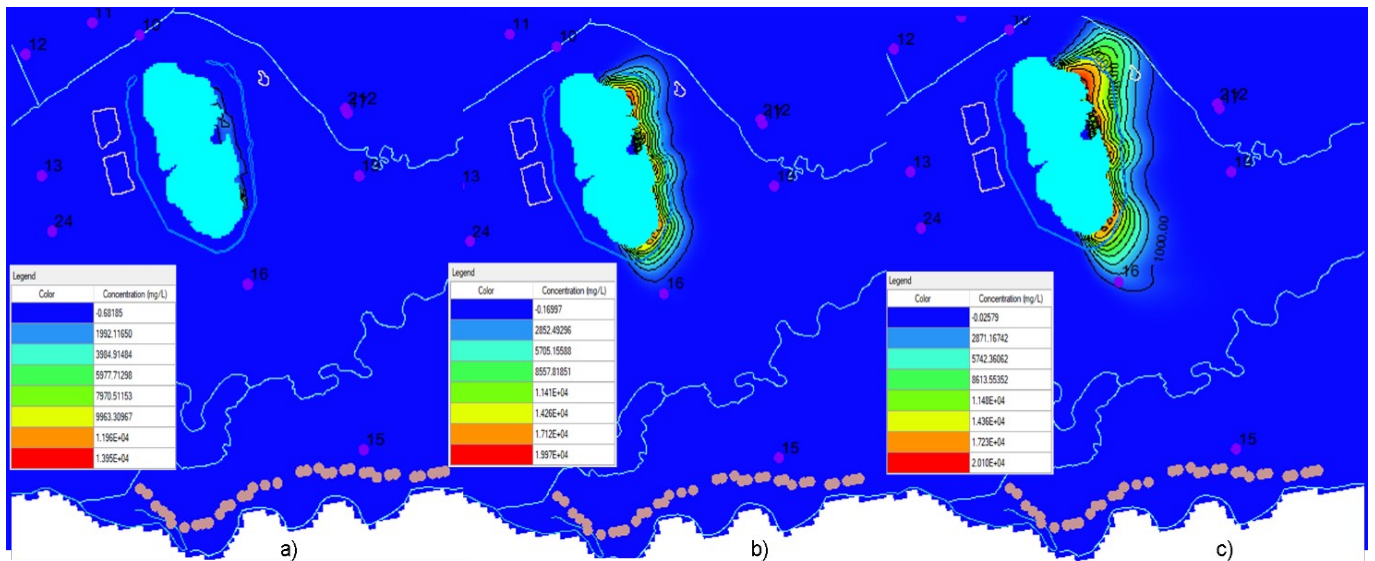


Рис. 7.5. Розповсюдження мінералізації вод 20 000 мг/дм<sup>3</sup> з Домбровського кар'єру через 2 роки (а), 20 років (б) і 40 років (с).

Як показано на рис. 7.5, підвищення мінералізації по свердловині № 16 на період прогнозів 20 років складе  $\approx 500$  мг/дм<sup>3</sup> на період 40 років – 4 000 мг/дм<sup>3</sup>. Якщо взяти до уваги, що сучасна мінералізація ґрунтових води в цій свердловині становить  $\approx 10\,000$  мг/дм<sup>3</sup>, то підвищення мінералізації через 40 років не є катастрофічним для водоносного горизонту.

## 7.1. Висновки до розділу

Проведено аналіз гідрогеологічних даних, що відображають сучасний стан території досліджень та розроблено базу геологічних, гідрологічних та геохімічних даних, яка лягла в основу для створення прогнозної математичної гідрогеологічної моделі.

Вперше виконано просторову схематизацію граничних умов та визначено межі області фільтрації: гранична умова I роду (р. Лімниця, р. Чечва) на півдні, II роду на сході моделі і III роду на півночі та заході. Побудовано цифрову тривимірну математичну модель гідрогеологічних умов для прогнозування засолення гравійно-галькового водоносного горизонту території Калуш-Голинського родовища калійних солей.

У результаті моделювання побудовано карту розподілу напорів та рівней ґрунтових вод станом на 15.08.2022 рік, а також прогнозну карту гідроізогіпс і визначено траєкторії шляхів руху засолених ґрунтових вод під впливом надходження розсолів з Домбровського кар'єру впродовж 40 років.

За розрахунками чисельної геофільтраційної моделі за 40 років найдовший шлях, який подолають частки засоленої води становить відстань близько 600 м (район розташування спостережної свердловини №16). Напрямок течії засолених вод не загрожує забрудненню ґрунтових вод в зоні водозабірних свердловин.

Розраховано зростання мінералізації підземних вод під впливом витоків розсолів з Домбровського кар'єру при рівні води в ньому 295 м. Підвищення мінералізації по свердловині № 16 на період прогнозів 20 років складе  $\approx 500$  мг/дм<sup>3</sup>. на період 40 років – 4 000 мг/дм<sup>3</sup>.

Встановлено, що вплив витоків розсолів із Домбровського кар'єру не становлять загрози забруднення Добрівлянського водозабору, який є єдиним джерелом питного водопостачання для м. Калуш та прилеглих населених пунктів.

## РОЗДІЛ 8. ВИЛУЧЕННЯ КОРИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З РОЗСОЛІВ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ

**Варто зазначити, що дослідження проводилися дисертанткою у 2021 році перед початком повномасштабного вторгнення, коли економіка України перебувала в стабільному стані.**

Принцип залежності між природними ресурсами та рівнем економічного добробуту завжди визначав рівень розвитку тієї чи іншої країни в світі. Водночас активне освоєння надр, що послідовно проходить етапи геологічного вивчення, інтенсивного використання та пост-майнінгу (виснаження та ліквідація родовищ), супроводжується значними екологічними ризиками. Останнім часом стає очевидним, що в Україні, як і в інших країнах із сировинною економікою, екологічні проблеми у гірничодобувних регіонах на завершальних стадіях промислової діяльності значно погіршують умови життєдіяльності населення та перешкоджають досягненню цілей сталого розвитку. Типовим прикладом такої ситуації є територія Передкарпатського прогину на заході країни.

Серед усіх гірничодобувних регіонів особливу увагу привертають райони видобутку калійних солей. Це зумовлено значним мінералогічним різноманіттям та унікальними співвідношеннями соляних мінералів, які характерні для Передкарпатського прогину й не мають аналогів у світі. Для більшості відомих соляних родовищ характерна наявність 2–4 основних мінералів (завжди наявні галіт і ангідрит, до яких найчастіше можуть доєднуватися сильвін та карналіт), натомість на Передкарпатських (в тому числі на Калуш-Голинському) їх налічують до двох десятків. Переважна більшість із них — хлориди, один із мінералів (каїніт) належить до хлоридо-сульфатів, решта представлені водними та безводними сульфатами натрію, калію, магнію і кальцію. Крім цих мінералів у соленосній товщі виявлені солі стронцію і, в незначних кількостях, борати.

З огляду на зазначене, покинуті соледобувні ділянки доцільно розглядати не лише як першопричину методичного накопичення негативних впливів на навколишнє середовище, але й як потенційне ресурсне джерело [138].

Протягом останнього десятиліття однією з найбільш пріоритетних складових стратегії екологічної безпеки в Україні є розробка запобіжних заходів з метою упередження екологічної катастрофи внаслідок діяльності гірничо-видобувних підприємств. Традиційно, для стабілізації та поліпшення стану довкілля, зокрема у постмайнінгових регіонах, пропонується впровадження комплексу заходів з реабілітації порушених і забруднених земель і водних об'єктів. Таким чином на їх місці створюються стійкі еколого-безпечні системи, які сприятимуть соціально-економічному відродженню країни (Земельний та Водний кодекс України). І у першу чергу це стосується тих територій, де екологічна безпека геологічного середовища в зонах впливу гірничих підприємств пов'язана із негативними наслідками техногенної активізації карсту. Останнє є характерною рисою для місць розробки калійних родовищ.

Тенденція розвитку досліджуваної території не відповідає визначеному Міжнародною комісією з проблем навколишнього природного середовища (1987 рік) поняттю «сталий розвиток». Затвердженим визначенням описується такий розвиток, який *«веде до задоволення нагальних потреб суспільства без зменшення можливостей майбутніх поколінь задовольняти їх потреби»*. Це означає, що розвиток має здійснюватись таким чином, щоб не лише мінімізувати негативні наслідки виснаження природних ресурсів і погіршення якості довкілля з метою їх збереження для майбутніх поколінь, а й забезпечувати соціально-економічний розвиток. Проте з економічної точки зору перманентне залучення фінансових ресурсів для проведення заходів, спрямованих на ліквідацію усієї завданої навколишньому середовищу шкоди без вирішення її першопричини є мало ефективним.

Сучасні програми сталого розвитку гірничодобувної промисловості намагаються розробляти у тих випадках, коли економіка тісно пов'язана з

мінерально-сировинним комплексом. Ці програми можуть бути спрямовані на вирішення конкретної проблеми чи на поліпшення загальних умов життєдіяльності місцевого населення. Можна навести багато прикладів таких ситуацій, зокрема у Франції, Португалії, Чехії та ін. Економічні, екологічні та соціальні умови кожного гірничодобувного регіону України є також індивідуальними в залежності від виду мінеральної сировини, типу місцевості, її геології, клімату тощо. Тому індивідуальними, з врахуванням специфіки регіонів, мають бути і програми їх екологічної реабілітації та подальшого розвитку [31]. Це стосується і Калуш-Голинського родовища, як епіцентру виникнення нестабільної еколого-економічної ситуації регіону.

Результати дослідження, отримані дисертанткою підтверджують загрозу забруднення питних підземних вод Калуського регіону поверхневими техногенними водами, тому доцільно шукати шляхи вирішення даної екологічної кризи, що могли б поліпшити екологічну безпеку даної території.

*Наступними завданнями дисертаційної роботи постали:*

- доведення доцільності використання розсолів Калуш-Голинського родовища в якості додаткової сировини для поліпшення еколого-економічного стану регіону;
- проведення перевірки економічної ефективності впровадження сучасних технологічних шляхів переробки розсолів експериментальним шляхом.

В регіональних аспектах мінерально-сировинна база має забезпечувати збалансовану структуру і раціональність використання доступних ресурсів в межах окремих областей (районів). І Передкарпатський прогин є тим регіоном, де існують усі передумови для якісного збалансування економічно-вигідної діяльності зі збереженням природи, як національного спадку. Суттєвою компонентою такого балансу може бути концепція вилучення корисних компонентів із розсолів та їх переробка у товарний продукт.

За результатами дослідження дисертантки, аналізу даних екологічного моніторингу та економічних аспектів, Калуш-Голинське родовище представляє промисловий та економічний інтерес. Це обумовлено наступними причинами:

1. У солоних водах та розсолах досліджуваного об'єкту встановлені значні вмісти калієво-магнієвих солей, бромю, рідше бору. Їх вилучення, переробка та реалізація може сприятливо вплинути на одержання дефіцитної в Україні продукції;

2. Екологічні показники впливу об'єктів ліквідованого родовища на навколишнє середовище отримують значне відображення на рівні державної статистичної звітності відносно даного аспекту.

3. До 2022 р. на державному рівні спостерігалось планомірне зменшення обсягів експорту такої продукції, як технічна сіль та мінеральні добрива (у тому числі калійні (рис. 8.2, 8.4) з одночасним збільшенням їх імпортування (рис.8.1, рис 8.3). А це свідчить про неспроможність задовольнити внутрішній попит за рахунок власних виробничих потужностей [137].

Отримані результати дають підстави вважати, що навіть за умов низьких вірогідностей значення будуть зростати, а отже потреба країни самозабезпечувати себе, максимально знизивши імпортні витрати, не втрачатиме свою актуальність. Тож, запровадження вищезгаданої концепції переробки розсолів є очевидною можливістю якісно вплинути на розвиток цієї промислової галузі. Останнє демонструє значну економічну вигоду в умовах кризової обстановки.

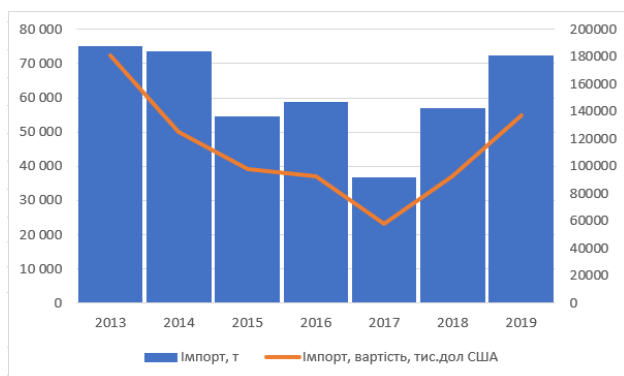


Рис 8.1. Імпортування мінеральних добрив, зокрема калійних

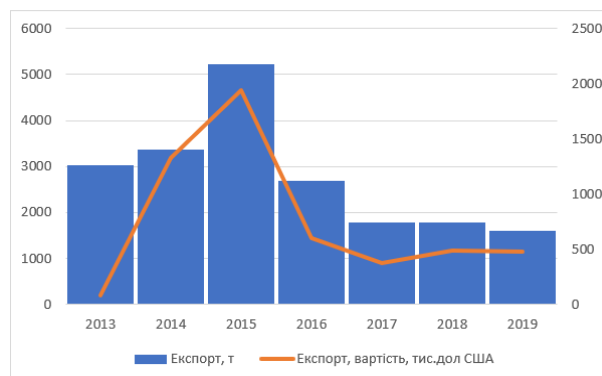


Рис 8.2. Експортування мінеральних добрив, зокрема калійних

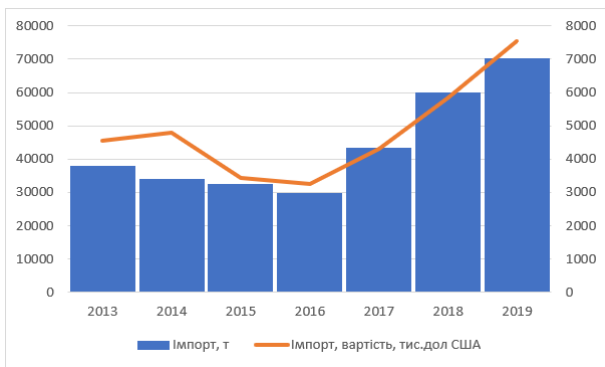


Рис 8.3. *Імпортування технічної солі та чистого хлориду натрію, води морської*

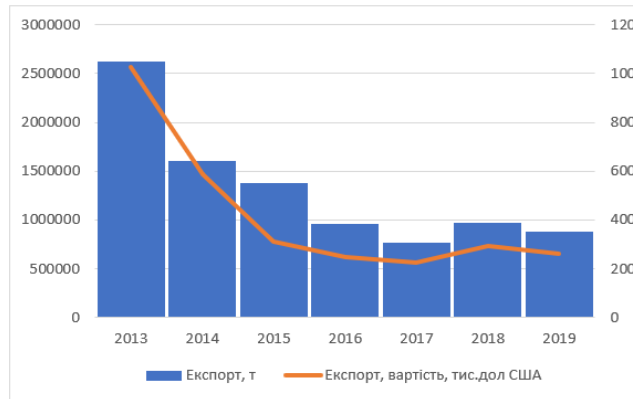


Рис. 8.4. *Експортування технічної солі та чистого хлориду натрію, води морської*

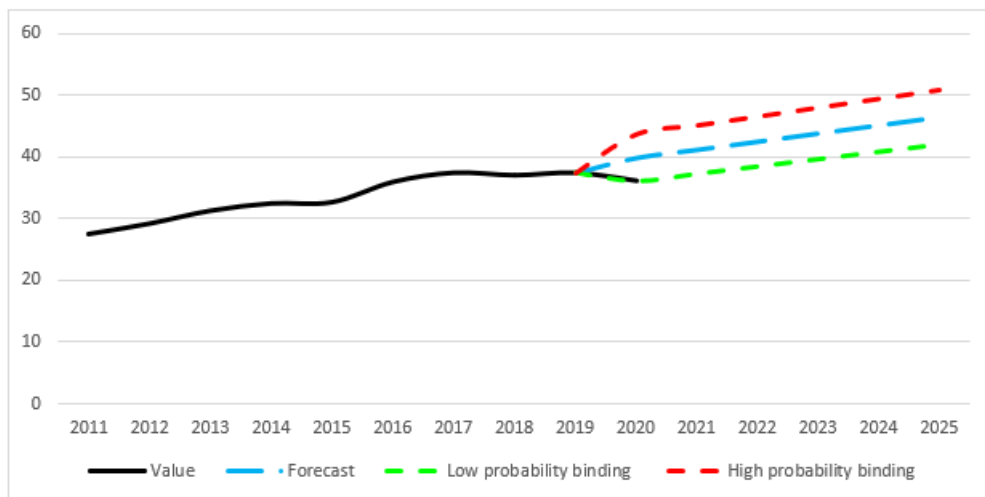


Рис 8.5. *Прогноз динаміки споживання калійних добрив у світі (здійснений у 2021 р).*

З огляду на зазначене, інвестування в проєкти, спрямовані на збільшення сировинного потенціалу країни за розглянутими напрямками, є доцільним і обґрунтованим. Це зумовлено не лише екологічним аспектом, зокрема можливістю суттєво зменшити ступінь засоленості прилеглих до об'єктів територій і тим самим знизити ризик виникнення екологічної катастрофи, але й економічною доцільністю.

Доказовою базою таких тверджень стали результати досліджень, проведених відносно Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей, а також у межах прилеглих до нього поверхневих техногенних об'єктів – хвостосховищ, шламонакопичувачів, солевідвалів тощо.

З екологічної точки зору принципово важливим для регіону є те, що будь-які породи, які містять водорозчинні солі й мають контакт з підземними чи поверхневими водами, неминуче піддаються інтенсивним гіпергенним змінам, а соляні компоненти – виносяться в навколишнє середовище.

Як свідчать спостереження, існуючі засоби рекультивації відвалів розкривних порід і хвостосховищ виявляються малоефективними. Крім того, техногенні об'єкти в їхньому нинішньому стані не здатні виконувати функцію надійного ізолювання легкорозчинних солей. Відтак, вони залишатимуться джерелом надходження солей у навколишнє середовище ще протягом тривалого часу.

Але відкладення, що заскладовані у хвостосховища, не є відходами у класичному розумінні. За умови правильного підходу, вони, – так само, як і розсоли, що заповнюють Домбровський кар'єр – можуть бути ефективно перероблені. Потенційною продукцією такої діяльності є технічна сіль, калімагnezія і концентрований магній-хлоридний розчин або кристалічний бішофіт. Такий спектр обумовлений історичним фактом: за період експлуатації родовища (1965-2008 рр.), через недосконалість технологій, з 1 тонни руди використовувалося лише 25% корисих компонентів. Решта 75% мінеральної сировини потрапляла у відходи, які і складувалися у хвостосховища [29]. Ці відходи потребують переоцінки з точки зору нетрадиційної дешевої мінеральної сировини. Результати такої оцінки можуть стати підґрунтям для розробки варіантів їх подальшого використання та продовження робіт на об'єкті загалом.

За результатами останніх досліджень [139], розсоли затопленого кар'єру мають значний потенціал для вторинної переробки. З одного кубічного метра розсолу можливо вилучити орієнтовно 115 кг сульфатного калійно-магнієвого добрива (калімагnezії), 210 кг технічної солі та 120 кг 32%-го розчину хлориду магнію.

Враховуючи, що у котловані, який наразі перебуває на стадії самозатоплення, вже накопичено понад 10 млн м<sup>3</sup> розсолів, перспективи видобутку є достатньо масштабними. За попередніми розрахунками, можливий чистий річний дохід від такої переробки може становити близько 36,5 млн євро.

Протягом останніх 15 років було здійснено кілька спроб практичної реалізації ідей щодо переробки розсолів на території Домбровського кар'єру. Зокрема, у 2011 році італійська компанія Vomm (Мілан) запропонувала проєкт з переробки солоних вод, накопичених у кар'єрі. Ідея передбачала встановлення десяти спеціалізованих модулів з орієнтовною продуктивністю 3 млн м<sup>3</sup> розсолу на рік. За оцінками експертів, собівартість отриманої технічної солі становила б близько 52 €/т. У разі її реалізації на європейському ринку прогнозований чистий прибуток міг досягати 10 млн євро на рік [131]. 2018 року ТзОВ «Калуська соляна компанія» виступила ініціатором аналогічного проєкту. Ним передбачалася переробка менших обсягів розсолів (1 млн. м<sup>3</sup>/рік), але одержання більшого спектру продукції (кам'яна сіль, калімагnezія та каустична сода). Проте, в кожному випадку, пропозиції наштотувалися на ряд перепон, зокрема юридичного та економічного характеру, внаслідок яких так і не були реалізовані, хоча перспективність не підлягала сумнівам.

В рамках дослідження було проведено порівняння цих проєктів, зокрема їх кількісних та фінансових результуючих показників (можливі обсяги перероблених розсолів, технології, необхідні інвестиції, окупність, та ін.). Декларовані (в проєктах) значення стали основоположними аргументами, що обґрунтовують доцільність перегляду ефективності підходів та способів переробки розсолів в Україні. В першу чергу тих, які базуються на технологіях їх демінералізації.

Найбільш перспективними і реальними наразі в Україні вважаються системи випаровування розсолів. Це обумовлено можливістю отримувати товарну продукцію, використовуючи при цьому мінімум обладнання. Проте, розвиток в світі солевидобувної індустрії та актуальність вишукувань в області вилучення зі складних розчинів розсолів ряду корисних компонентів, суттєво прискорила

осучаснення технологічних підходів до даного виду діяльності. Прагнення якісно конвертувати вилучене у товарний продукт сприяло активізації пошуків нових можливостей для вирішення питання, які водночас були б привабливими для інвесторів та найбільш безпечними для природного середовища [129, 134, 149].

Зокрема, це дало поштовх розвитку мембранних технологій. Проведений аналіз їх різноманітних варіацій (завчасне опріснення (зворотній осмос), мембранне очищення та електродіаліз) дає підстави вважати їх впровадження на ряді українських об'єктів, наприклад Домбровському кар'єрі, перспективною ініціативою. Значною мірою це обумовлюється можливістю створення не лише умов для зростання дохідного потенціалу району дослідження, але й суттєво сприяти відновленню порушеного екобалансу територій.

На прикладі наведених проєктів є очевидним контраст традиційних методів із більш технологічними шляхами «управління розсолами». Зокрема, це відображається, як на рівні економічних витрат, так і на самій продуктивності.

З метою доведення доцільності використання розсолів Калуш-Голинського родовища в якості джерела додаткової сировини та економічності такого підходу було проведено експеримент. Відносно Домбровського кар'єру були змодельовані комбіновані умови, що включали:

- використання електродіалізу, як однієї із найбільш високотехнологічних методик переробки розсолів у світі, вартість якої сягає 10,05 \$/м<sup>3</sup> або 8,28 €/м<sup>3</sup> (відповідно до курсу валют станом на 11.06.2021);

- запропонований у 2018 році обсяг, необхідних для реалізації проєкту, інвестицій (100 млн. €);

- річне обмеження безпосередньої переробки розсолів 1-им млн м<sup>3</sup>, що також передбачалося попереднім проєктом, але за умов використання традиційних технологій.

На основі цих вихідних даних були розраховані ключові фінансові показники – індекс прибутковості (PI) (1) та чистої приведеної вартості (NPV) (2) [150].

Інтерпретація отриманих результатів дала можливість зробити висновки щодо дохідності описаного підходу роботи із розсолами.

Окрім того, для кращого висвітлення можливих змін досліджуваних параметрів, які ілюструють рівень ефективності проєктів даного типу, були розглянуті три варіації річної ставки дисконту, враховуючи її коливання за останні три роки. Використання усіх зазначених даних у сукупності із сучасними світовими цінами на технічну сіль й мінеральні добрива, зокрема калійні, а також обсяги їх можливого видобутку з розсолів дало наступні результати, що наведені в табл. 8.1 та табл. 8.2.

$$PI = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{NCF_k}{(1+r_k)}}{\sum_{j=1}^m \frac{I_j}{(1+r_j)^j}} \quad (1)$$

де  $n$  – прогнозний період, роки;  $k$  – рік у прогнозному періоді;  $NCF_k$  – чистий операційний потік коштів (доходи) у рік  $k$ , млн. €/рік;  $r_k$  – річна ставка дисконту в рік  $k$ , %;  $m$  – кількість років протягом яких планується інвестування, роки;  $j$  – рік у якому здійснюється інвестування;  $I_j$  – інвестиції (витрати) у рік  $j$ , млн. €;  $r_j$  – річна ставка дисконту в рік  $j$ , %.

Таблиця 8.1

Значення індексу прибутковості проєкту

Річна ставка дисконту	PI
8%	4,28
14%	4,67
19%	4,94

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{NCF_k}{(1+r_k)} - \sum_{j=1}^m \frac{I_j}{(1+r_j)^j} \quad (2)$$

Таблиця 8.2

## Значення показника чистої приведеної вартості

Річна ставка дисконту	NPV, млн. €
8%	258,68
14%	251,37
19%	244,42

Керуючись наведеними у Програмі розвитку державно-приватного партнерства в Україні та Практичному посібнику з підготовки ТЕО залежностями:  $PI > 1$ ,  $NPV \geq 0$ , можливо зробити однозначний висновок про високу ефективність представленого гіпотетичного проєкту, навіть за умови економічної нестабільності в країні. Впровадження новітніх технологій з переробки розсолів суттєво позначається на загальній економічності проєкту, значно зменшуючи час окупності (5 років – у запропонованому в 2018 році проєкті, 3 роки за умови використання електродіалізу) та збільшення обсягів сумарного доходу за проєктний період.

Окрім того, встановлені показники доцільно вважати прийнятними не лише для приватного підприємця, але й для державного партнера, оскільки такий проєкт дозволить досягнути цілої низки соціально-економічних цілей. Серед останніх можливо виділити: створення умов для інноваційного розвитку внутрішнього ринку, поліпшення інвестиційного клімату та досягнення європейських стандартів життя, що з-поміж іншого включає й екологічну безпеку.

З огляду на усе зазначене, на фоні успішної реалізації проєктів даного напрямку такими країнами, як Норвегія, Італія, Польща, Румунія, Франція, Канада та ін., поширене в Україні переконання у необхідності дотримання перевіреного часом, шляху роботи із солоними водами, яке супроводжується регулярним висуванням відповідних пропозицій [133, 151] щодо нівелювання їх впливів на оточуюче середовище виглядає все більш архаїчно. Проте в той же час одномоментний

перехід на нові технології та перегляд системи функціонування існуючої інфраструктури районів, що мають відповідні перспективи є неможливим. З цих причин, на сьогоднішній день, найкращим варіантом оптимізації роботи із високомінералізованими водами в досліджуваному регіоні може стати об'єднання технологій в гібридні системи. Поступове поєднання традиційних методів роботи з новітніми у супроводі ретельного моніторингу усіх основних показників ефективності проєктів за короткий час дало б змогу отримати статистичне підтвердження раціональності підходу й забезпечити плавний перехід вітчизняної промисловості на новий техніко-економічний рівень.

## 8.1. Висновки.

Розгляд полімінеральних розсолів Передкарпатського прогину, не лише, як першопричини порушення екологічного балансу, але й як потенційно вигідного проєкту для інвестиційних вкладень вбачається далекосяжним з огляду на можливості, що відкриваються при подібному підході.

Досліджено шляхи вирішення екологічної кризи, що могли б поліпшити екологічну безпеку Калуського регіону та сприяти сталому економічному розвитку країни в цілому.

Продемонстровано, що імпорт товарної продукції перевищує експорт. Доведено доцільність видобутку цінної мінеральної сировини із розсолів Калущ-Голинського родовища. Проаналізовано способи переробки розсолів з точки зору прибутковості. Отриманий, в результаті переробки розсолів Калуського родовища, сульфат калію створить умови для розширення виробництва мінеральних добрив, а сульфат натрію – займе відповідну нішу у скляній і паперовій промисловостях. Окрім того, за умов раціонального управління, отримані обсяги товарної продукції зменшать імпорتنі затрати держави, що автоматично призведе до зростання показника внутрішнього валового продукту країни.

Виконано прогноз світового споживання калійних добрив, що підтверджує доцільність такого підходу. Розраховано ключові фінансові показники – індекс прибутковості (PI) та чистої приведеної вартості (NPV)

Зроблено висновок про доцільність поєднання традиційних методів роботи з новітніми у супроводі ретельного моніторингу усіх основних показників ефективності проєктів, що дало б змогу переорієнтуватися на новий техніко-економічний рівень.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання з дослідження гідрогеологічної системи в зоні дренажного впливу Домбровського кар'єру. Досліджено гідрогеохімічні закономірності та параметри геологічного середовища внаслідок експлуатації та пост-майнінгу Калуш-Голинського родовища, які базуються на експериментальних даних, моделюванні та прогнозуванні забруднення підземних вод у зоні техногенезу соледобувного родовища.

1. Проаналізовано гідрогеофільтраційне поле кар'єру та динаміку інтегрального водоприпливу. Досліджено, що зона дренажного впливу Домбровського кар'єру в геолого-гідрогеологічному плані відрізняється мінімальними глибинами залягання сольового дзеркала (поверхні сольової товщі) та наявністю напірно-безнапірного піщано-гравійного-галькового горизонту у підшві пухких покривних порід. Доведено, що водоприпливи у кар'єр мають відносно врівноважений з опадами режим (квазіусталений режим).

2. Досліджено гідрогеологічні умови гравійно-галькового водоносного горизонту, що являється єдиним джерелом питної води Калуського регіону. Встановлено рівневий режим та напрямки руху підземних вод. З метою визначення рівнів та напрямків розповсюдження засолення, а також прогнозування змін гідрогеологічних та гідрохімічних умов, в 2021-2023 рр. було виконано ряд гідрогеологічних спостережень. Ці роботи лягли в основу створення математичної моделі гідрогеологічних умов та можуть бути залучені для розробки заходів захисту гравійно-галькового водоносного горизонту від забруднення. Вперше за останні десятиріччя побудовано карту гідроізогіпс території дослідження. За результатами відбору проб та проаналізованими даними хімічних аналізів визначено динаміку зміни мінералізації та джерела забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту. Визначено, що потужним джерелом забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту є поверхнево-техногенні водойми (хвостосховище (ХС) №1, хвостосховище №2, шламонакопичувач (ШН), солевідвали №1 та 4).

3. Проведено комплексний підхід щодо визначення коефіцієнта фільтрації (Кф) гравійно-галькового водоносного горизонту. Для визначення усередненого Кф для значної території використано балансові методи інструментального визначення надходження води в кар'єр та знайдено параметри для його розрахунку. З використанням рівняння Дарсі визначено, що Кф становить 5,3 м/добу. Таким чином, вперше отримано коефіцієнт фільтрації гравійно-галькового водоносного горизонту I, II та III надзаплавних терас, що усереднює фільтраційні властивості ґрунтів на великій території і який можливо застосувати для прогнозування засолення підземних вод.

4. Проаналізовано динаміку хімічного складу розсолів поверхневого шару Домбровського кар'єру в період розробки калійної руди та після виведення Калуш-Голинського родовища з експлуатації. Спрогнозовано зміну гідрохімічних умов у гірничій виїмці. Після повені 2008 р. спостерігається стійка тенденція опріснення води в гірничій виїмці. Зроблено прогноз щодо мінералізації поверхневого шару водного дзеркала (16 000-17 000 мг/дм<sup>3</sup>) через два роки при збереженні темпу наповнення наповнення води у кар'єрі до максимальної позначки 295 м у 2027 р.

5. Запропоновано експрес-метод визначення хімічного складу розсолів за фізичними властивостями (густиною та мінералізацією) з уточненням розрахованих концентрацій за співвідношенням еквівалентного вмісту компонентів.

6. Вперше досліджено ізотопний склад поверхневих та підземних вод в районі Домбровського кар'єру в межах об'єкту дослідження. Встановлено вплив надходження поверхневих техногенних водойм (ПТВ) зі сховищ у підземні води, що проявляється в підвищених концентраціях <sup>18</sup>O, D та <sup>3</sup>H у пробах із спостережних свердловин. На основі експериментальних даних визначено вплив ПТВ, що містяться в ХС №2 та ШН на хімічне забруднення гравійно-галькового водоносного горизонту (свердловини № 8, 9, 10, 11, 13). Доведено, що за ізотопним складом води вплив надходження ПТВ зі сховищ можна фіксувати ще до появи в пробах підвищених концентрацій забруднюючих компонентів.

7. Вперше виконано просторову схематизацію граничних умов та визначено

межі області фільтрації: гранична умова I роду (р. Лімниця, р. Чечва) на півдні, II роду на сході моделі і III роду на півночі та заході. Побудовано цифрову тривимірну математичну модель гідрогеологічних умов для прогнозування засолення гравійно-галькового водоносного горизонту на території Калуш-Голинського родовища калійних солей. Встановлено, що вплив витоків розсолів з Домбровського кар'єру не вплине на забруднення Добрівлянського водозабору, єдиного джерела питного водопостачання м. Калуш та прилеглих населених пунктів.

8. Досліджено шляхи подолання екологічної кризи Калузького регіону, що виникла внаслідок тривалої експлуатації родовища та пост-майнінгових процесів. Проаналізовано можливості переробки розсолів з точки зору економічної доцільності та прибутковості. Обґрунтовано перспективність переорієнтації робіт на досліджуваних об'єктах із традиційних підходів на більш сучасні технології, що поєднуються з найефективнішими стратегіями відновлення екосистемної рівноваги. Такий підхід є реальним шансом для регіону стабілізувати рівень екологічної безпеки та покращити економічний розвиток. Це може бути досягнуто за рахунок скорочення витрат на екологічні заходи, зменшення негативного впливу на довкілля, а також отримання прибутку від реалізації продукції, отриманої в результаті переробки розсолів.

9. За результатами роботи розроблено «Пристрій для експрес-вимірювання мінералізації розчину», який може використовуватися для виробництва електроенергії (патент на корисну модель № 147386).

### Список використаних джерел

1. Андреичев А.Н. Разработка калийных месторождений. Москва: Недра, 1969.
2. Бабинец А.Е., Мальская Р.В. Геохимия минеральных вод Предкарпатья. К.: Наукова думка, 1975. 200 с.
3. Багрій С.М., Бучинський В.А, Денисюк Р.П., Штогрин М.В. Стан розвитку природно-техногенного карсту на Стебницькому калійному родовищі (за геофізичними даними). Науковий вісник Національної гірничої академії України, 2002. №4. С. 93 – 94.
4. Багрій С.М. Геофізичний моніторинг геологічного середовища в межах родовища калійної солі (на прикладі Калуш-Голинського родовища): дис. ... канд. геол. наук : 04.00.22/Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2016. 163 с.
5. Багрій С.М., Анікеєв С.Г. Гравіметричний моніторинг у межах Калуш-Голинського родовища калійних солей. Матеріали доповідей науково-практичної конф. «Нафтогазова геофізика – інноваційні технології» 25-29 квітня 2011 р., м. Івано-Франківськ, 2011. С. 17 – 20.
6. Багрій С. М., Кузьменко Е. Д. До питання оцінки забруднення підземних вод електрометричними методами. *Геодинаміка*. 2013. № 2 (15) : Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища : V Міжнародна наукова конференція до 95-річчя Національної академії наук України. 1–4 жовтня 2013 року, Львів, 2013. С. 93–96.
7. Багрій С.М., Кузьменко Е.Д. Особливості застосування методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі для прогнозу стійкості масиву гірських порід. XVIII Міжнародний науково-технічний симпозіум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS - технології», 10 – 15 вересня 2013 р., Алушта (Крим, Україна): Збірник матеріалів. Львів, 2013. С. 173 – 175.
8. Багрій С.М. Оцінка можливості прориву річки Сівка в Домбровський кар'єр Калуш-Голинського родовища калійної солі. Науковий вісник Івано-

Франківського національного технічного університету нафти і газу. Івано-Франківськ, 2009. № 43(22). С. 44 – 52.

9. Багрій С.М., Кузьменко Е.Д., Анікеєв С.Г. Оцінка ступеня просідання земної поверхні на шахтних полях Калуського гірничо-промислового району за даними високоточної гравіметрії. Сборник научных трудов SWorld: Научный мир, г. Иваново, 2016. Том 13. Выпуск №1(42). С. 40 – 48.
10. Багрій С.М. Про необхідність комплексування геофізичних методів при дослідженні природно-техногенного карсту (на прикладі соляних родовищ Передкарпаття). Геодинаміка, 2011. 2 (11). С. 24-26.
11. Багрій С. М., Анікеєв С. Г. Про методіку високоточного гравіметричного моніторингу та підвищення його інформативності щодо змін у будові геологічного середовища. Друга міжнародна наук. конф. «Геофізичні дослідження та моделювання фізичних полів Землі» м. Львів – Чинадієво, Закарпатська обл., 20- 22 вересня 2012 р., ЛНУ імені Івана Франка, 2012. С.41 – 46.
12. Білоніжка П.М. Типоморфізм глинистих мінералів соленосних відкладів Передкарпаття. Мінерал. зб. Львів. ун-ту, 1993. № 46, вип. 1. С. 157—161.
13. Боднар Г. В. Стан екологічної ситуації на Калусько-Голинському родовищі на стадії ліквідації. Екологія і ресурси. 2007. Вип. 17. С. 42-46.
14. Бондаренко С.С., Куликов Г.В., Лубенский Л.А. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. Москва: “Недра”, 1988. 128 с.
15. Бузинний М. Г.. Десять років моніторингу тритію в Україні. Довкілля та здоров'я №4-2001/2001, с. 31.
16. Бурак К.О., Кузьменко Е.Д., Багрій С. М., Гринішак М.Я., Мельниченко Г.Г., Михайлишин В.П., Ковтун В.М. Особливості геодезичного моніторингу та прогнозування геотехногенної динаміки на шахтних полях калійних родовищ. *Вісник геодезії та картографії*. 2014. № 5. С. 12-18.

17. Валяшко М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. И-во Московського у-та, 1962. 397 с.
18. Визначення можливості використання розсолів Домбровського кар'єру для прискорення ліквідації рудника „Ново-Голинь” (заключний звіт з рекомендаціями). Калуш: ДНДІГ, 1998. 21 с.
19. Выявление закономерностей пространственного размещения калийных пластов и изменчивости их минерального состава в Калуш-Голинском и Стебникском калийных месторождениях [отчет, тема 17 – 90. Н.М.Джиноридзе]. ВНИИГ. Ленинград, 1976. 348 с.
20. Гайдін А.М., Дяків В.О. Домбровське озеро: прогнози і факти. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2012. № 2(6). С. 72—77.
21. Гайдін А.М., Дяків В.О. Прісне озеро на місці соляного кар'єру. *Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки*. 2010. № 17. С. 86—90.
22. Гайдін, А. М., Дяків В. О. Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. пр., Волин. нац. ун-т імені Лесі Українки. Луцьк, 2010. № 7. С.50-64.
23. Гайдін А. М., Дяків В.О., Чікова І. В. Калуш – програма ревіталізації. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2014. № 2 (10). С. 101–107.
24. Гайдін А.М. Озеро в Домбровському калійному кар'єрі. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2011. № 2(4). С. 55—62.
25. Гайдін А.М., Рудько Г.І. Сульфатний карст та його техногенна активізація (на прикладі Карпатського регіону України). Київ: Товариство «Знання» України, 1998. 76 с.
26. Головчак В.Ф. Стан гірничопромислових геокомплексів Калуш-Голинського родовища калійних солей та заходи для їх екологічної оптимізації. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування* 2010. № 2. С. 4-13.

27. Головач В.Ф. Трансформація складових геосистеми у процесі природокористування на Калуш-Голинському родовищі калійних руд. *Український географічний журнал*. 2012. №1. С. 57-62.
28. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области. Пермь, 1990. 44 с.
29. Гурська Н.В., Багрій С.М., Давибіда Л.І., Кузьменко Е.Д., Фіцак І.В. Просторове моделювання та прогнозування екологічної ситуації при наповненні Домбровського кар'єру. Матеріали доповідей XIV Міжнародної конференції. «*Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти*». 11-14 травня 2015 р. м. Київ, 2015. С. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201412365>
30. Джиноридзе Н. М., Гемп С. Д., Горбов А. Ф., Раевский В. И. Закономерности размещения и критерии поисков калийных солей СССР. Тбилиси: Мецниереба, 1980. С. 373.
31. Довгий С.О., Коржнев М.М., Трофимчук О. М., Курило М.М., Яковлев Є.О., Миронцов М.Л., Анпілова Є.С., Віршило І.В., Кошарна С.К., Сухіна О.М., **Малькова Я.О.** Засади формування екологічної політики у мінерально-сировинному комплексі України в сучасних умовах: Наук. ред. М.М. Коржнев; НАН України; *Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України*:Київ: Nika-Center. 2022. 200 с. ISBN 978-966-7067-47-2
32. Долін Віктор Володимирович, Пушкарьов Олександр Васильович, Шраменко Іван Федорович, Бобков В. М., Іщук О. О.; *Третій у біосфері*. НАН України. Ін-т геохімії навколиш. Середовища ; за ред. Е. В. Соботович, В. В. Долін. – Київ : Наукова думка, 2012.– 222 с. : іл., табл. – (Проект "Наукова книга").
33. Долін В.В., Яковлев Є.О., Кузьменко Е.Д., Бараненко Б.Т. (2010), Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2010. №1, С. 74-87. \_

34. Долін В.В., Яковлєв Є.О., Щербак О.В., **Куцка Я.О.** Еволюція контурів радіогідрогеохімічної аномалії тритієвого забруднення в зоні впливу приповерхневого сховища радіоактивних відходів. Тези доповідей XIV Міжнародної конференції «*Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти*». Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К., 2015. С.1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201412368>
35. Дяків В.О. Моделювання впливу самоізоляції бортів, гравітаційної диференціації та хвильового змішування на формування хімічного складу озерних вод в процесі затоплення Домбровського соляного кар'єру (м. Калущ). Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2015. № 3-4. 64 с.
36. Дяків В., Цар Х. Модель вилуговування, закарстовування та самоізоляції легкорозчинних солей з приповерхневих соляно-глинистих відкладів хвостосховищ і солевідвалів калійних родовищ Передкарпаття. *Мінерал. зб.* 2010. № 60, вип. 2. С. 136–147.
37. Дяків В.О., Павлишин В.І., Білик Н.Т. Мінералогічні протектори дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття. *Мінералогічний журнал*. Київ, 2013. № 35. вип. 1. 38 с.
38. Запровадження екологічного моніторингу стану довкілля, контролю засоленості поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, зон просідань та гірничих розробок на території гірничо-хімічних підприємств міста Калущ та сіл Сівка-Калущька і Кропивник: звіт по темі 1/2020. м. Івано-Франківськ: ТОВ "Ноосфера Груп", 2020. 29 с.
39. Запровадження екологічного моніторингу стану довкілля, контролю засоленості поверхневих і підземних вод, зон просідань та гірничих розробок на території гірничо-хімічних підприємств міста Калущ та сіл Сівка-Калущька і Кропивник: звіт по темі 1/2021. м. Івано-Франківськ: ТОВ "Ноосфера Груп", 2021. 160 с.

40. Запровадження системи екологічного моніторингу впливу колишнього калійно-магнієвого виробництва з метою запобігання виникнення надзвичайної ситуації: звіт по темі 1/2019. м. Івано-Франківськ: ТОВ "Ноосфера Групп", 2019. 31 с.
41. Захаров В.Ф., Бобко П.С. Гидрогеологические условия Калушского района. Отчет по теме 27 гидрологической лаборатории Калушской ГРП за 1951 г. Ленинград, 1953.
42. Захаров В.Ф. Гидрогеологические задачи при открытых разработках калийных солей на Домбровском месторождении. Труды всесоюзного НИ института Галургии, в. XLVI. Ленинград, 1964. С. 64-73.
43. Захаров В.Ф., Ковалева И.Н., Еловская М.В., Бобко П.С., Бобко Петр С., Грудинин Л.К., Поленов И.К. Гидрогеологические и геотехнические свойства пород Домбровского участка Калушских месторождений калийных солей: Том I. Ленинград, 1958.
44. Захаров В.Ф., Ходьков Л.Е., Ковалева И.Н. Надсолевые рассолы Предкарпатья. Труды ВНИИГ, вып. XXXV. Ленинград, 1959. С. 299-331.
45. Звіт: "Геолого-економічна оцінка експлуатаційних запасів питних підземних вод ділянки Івано-Франківського родовища (колодязі №№2-11) Івано-Франківської області. (АТ «Українська залізниця»), виконаний ДП „Українська геологічна компанія”.
46. Зильбер Шмидт В.Г., Сипопальников К.Г., Полянина Г.Д. Технология подземной разработки калийных руд. М.:Недра, 1977.
47. Иванов А.А., Воронова Н.Л. Галогенные формации (минеральный состав, типы и условия образования; методы поисков и разведки месторождений минеральных солей). М.:Недра, 1972. 328 с.
48. Иванов А.А. Месторождения калийных солей Восточного Предкарпатья. Ленинград: Недрa, 1944. 173 с.
49. Кицмур І., Дяків В. Оцінка впливу солевідвалів та хвостосховищ Калуш-Голинського родовища калійних солей на геохімічні характеристики річкових

вод. *Вісник Львівського університету*. Серія геологічна. Львів, 2013. Вип. 27. С. 69–80.

50. Кицмур І. І., Дяків В. О. Геохімічні умови формування карстових озер та засолених інфільтратів хвостосховища № 1 (м. Калуш, Івано-Франківська область). Зб. наук. праць, присв. 130-річчю від дня народження академіка О. Є. Ферсмана. К., 2013. С. 316–323.
51. Климов М. А. Перспективы калиеносности отложений Калушской галогенной формации во Внутренней зоне Предкарпатского прогиба. Геология и геохимия соленосных формаций Украины. Киев, 1977. С. 14–22.
52. Комплексні геофізичні дослідження з метою прогнозування карстово-провальних процесів і забруднення питних підземних вод району м. Калуш : звіт по темі 1/2013. м.Львів: ЗУГРЕ ДГП «Укгеофізика», 2013. 184 с.
53. Комплексна інтегрована інтерпретація геолого-геофізичних даних з метою виявлення розвитку карстових процесів в межах північного борту Домбровського кар'єру та простеження зон активної фільтрації р. Сівка в кар'єр у режимі моніторингу : звіт по темі 1/2009-К. Науково-дослідний інститут гідроекології, інженерної геології та екогеології. м. Івано-Франківськ, 2009. 48 с.
54. Корневский С. М., Донченко К. Б. Геология и условия формирования калийных месторождений Советского Предкарпатья. Труды ВСЕГЕИ. Геология месторождений калийных солей. Л., 1963. Т. 99. 152 с.
55. Корневский С.М. К стратиграфии Калушской свиты Калуш-Гольинского района. Тр. ВНИИГа. выпуск XXXII. Л., 1956. С. 60 –70.
56. Коростышевский И.З., Демихов Ю.Н., Березовский Ф.И. Источники и оценка погрешностей масс-спектрометрического изотопного анализа водорода в природных водах. *Isotopenpraxis*, 1982, Bd. 18, N.1, p.10-15.
57. Кривоусов А.Я. Результаты наблюдений за процессом выщелачивания и разрушения соляных пород в уступах карьера. Л.: ВНИИГ, 1974. 17 с.

58. Крижанівський Є. І., Кузьменко Е. Д., Палійчук М. В., Бараненко Б. Т. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла. *Наук. вісн. Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти та газу: наук.-тех. журн.* 2008. № 2. С. 3–9.
59. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М., Вдовина О.П., Хмара І.Є., Бараненко Б.Т. Ефективність комплексного підходу при геофізичному вивченні карстових процесів над відпрацьованими шахтними полями родовищ кам'яної та калійної солі. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* 2007. №4(25). С. 41 – 49.
60. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М., Вдовина О.П., Штогрин М.В., Бучинський В.А. Комплекс геофізичних методів прогнозування розвитку соляного карсту в Передкарпатті. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.* 2003. Серія “Геологія”. Випуск 26 - 27. С. 43 – 50.
61. Кузьменко Э.Д., Багрій С.М., Штогрин Н.В. К вопросу картирования соляного карста в Закарпатье. *Науковий вісник Національної гірничої академії України.* 2003. №6. С. 82 – 87.
62. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М. Геолого-геофізична характеристика Калуш-Голинського родовища калійної солі. Міжнародна наук. конф. «*Геофізичні дослідження та моделювання фізичних полів Землі*» м. Львів – Чинадієво, Закарпатська обл., 16 – 18 вересня 2010 р. ЛНУ імені Івана Франка, 2010. С.145 – 150.
63. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М. Еколого-геологічний моніторинг по території Калуського гірничопромислового району – плани та реалії. Матеріали доповідей XII Міжнародної конференції. «*Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти*». 13-16 травня 2013 р. – м. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К., 2015. С.1-6.
64. Кузьменко Е.Д. Багрій С.М. Ефективність методів електрометрії при дослідженні карсту на родовищах солі Прикарпаття. Матеріали ІХ

- Міжнародної наук. конф «*Моніторинг геологічних процесів*». м. Київ, 14-17 жовтня 2009 р. К., 2009. С. 110 – 111.
65. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М, Вдовина О.П. Ефективність комплексного підходу при вивченні карстових процесів на соляних родовищах. Матеріали Всеукраїнської наук. конф. «*Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища*». м. Київ, 21-24 вересня 2006 р. К., 2006. С. 282 – 284.
66. Кузьменко Е.Д., Багрій Е.Д. Загроза прориву річкових вод у Домбровський кар'єр Калуш-Голинського родовища калійної солі – реальність чи фантазія?. Матеріали ІХ Міжнародної наук. конф «*Моніторинг геологічних процесів*». м. Київ, 14-17 жовтня 2009 р. К., 2009. С. 145 – 147.
67. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М, Вдовина О.П. Попередній прогноз карстових процесів за даними геофізичних досліджень на Калуш-Голинському родовищі калійної солі. Матеріали V міжнар. наук. конф. «*Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища*». м. Київ, 7 – 9 жовтня 2004. К.:ВПЦ «Київський університет». 2004. С. 93 – 94.
68. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М. Про доцільність дослідження карсту на родовищах калійної та кам'яної солі електричними методами. *Геодинаміка*. 2011. № 2 (11). С. 134-137.
69. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М. Сучасні інформаційні технології дослідження карсту геофізичними методами (на прикладі Стебницького родовища калійної солі). *Можливості супутникових технологій у сприянні вирішення проблем Львівщини*: матеріали наради 11 червня 2009 р. Львів, 2009. С. 23 – 24.
70. Ліквідація джерел забруднення підземних вод та рекультивація порушених еземель території гірничо-технологічних об'єктів колишнього Калуського калійно-магнієвого виробництва (Домбровський кар'єр із зовнішніми відвалами розкривних порід №1 та №4, хвостосховище №1, хвостосховище №2, шламонакопичувач) м. Калуш, Калуський район, Івано-Франківська область» Договір №14 від 10.05.2018р. Етап 3. Обстежувальні роботи по

об'єктах та територіях проектування. Звіт про науково-технічну роботу з обстеження та гідрохімічного опробування джерел забруднення 018.029.00.000-НТР1. Львів – 2018. 58 с.

71. Малишевська О.С., Шуровський О. Д., Анікеєв С. Г., Шамотко В.І., Дешиця С.А., Ніколаєнко О.А., Поплюйко А.Г., Геофізичний моніторинг екобезпечних геологічних процесів в агломерації м. Калуша. *Мінеральні ресурси України*, 2012. серія Екогеологія. 31 с.
72. **Малькова Я. О.**, Бобков В. М., Долін В. В. (2020), Моделювання кінетики розчинення мінералів соленосних порід Домбровського кар'єру // *Мінералогічний журнал*. – 2020. – 42, № 4. – С. 60–68. *Web of science*
73. **Малькова Я.О.**, Долін В.В. Еволюція хімічного складу розсолів Домбровського кар'єру. 3б. VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «*Наукова молодь-2020*». м. Київ, 21 жовтня 2020 р. С. 178-182.
74. **Малькова Я.**, Долін В. Хімічний склад розсолів Домбровського кар'єру Калуш-Голинського родовища калійних солей. *Norwegian Journal of development of the International Science*. No 48/2020. 12 p.
75. **Малькова Я. О.**, Долін В. В., Бобков В. М. Експериментальне моделювання конвекційно-дифузійного масоперенесення в розсолах Домбровського кар'єру (м. Калуш Івано-франківської обл.). *Мінеральні ресурси України*. 2020. № 4. С. 22-27.
76. **Малькова Я.**, Долін В., Яковлев Є. Еколого-техногенні закономірності формування розсолів Домбровського кар'єру. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Серія Геологія. 2020. № 4(91).
77. **Малькова Я. О.**, Долін В. В., Яковлев Є. О., Кузьменко Е. Д., Багрій С. М. Динаміка засолення гравійно-галькового водоносного горизонту питних вод в межах Калуш-Голинського родовища калійних солей // *Збірник матеріалів ІХ всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Наукова молодь – 2021»*. 30 листопада 2021 р. м. Київ. с. 179-185.

78. **Малькова Я.О.**, Коваленко І.О., Долін В.В., Панасюк М.І., Деміхов Ю.М., Сосонна Н.В., Багрій С.М., Кузьменко Е.Д. Ізотопно-радіогеохімічне дослідження підземних вод Калуш-Голинського родовища калійних солей. *Геохімія техногенезу*. 7 (35). 2022: 73-77.  
DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.14>.
79. Мальований М.С., Савчук Л.Я. Стратегія мінімізації екологічної небезпеки внаслідок впровадження комплексної технології перероблення нагромаджених розсолів та твердих відходів калійного виробництва у Калузькому промисловому регіоні. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. 2013. Вип. 1/2013 (78). С. 109-113.
80. Манюк О., Манюк М., Манюк В. Щодо питань екологічної безпеки у процесі розробки родовищ калійних солей. Шоста міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» м. Трускавець, 7-11 жовтня 2019 р. С. 124.
81. Манюк О.Р., Семчук Я.М. Дослідження особливостей геологічної будови та гідрогеологічних умов Калуш-Голинського родовища калійних солей з метою проектування полігону захоронення високомінералізованих розсолів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2007. №1. С.21-26.
82. Манюк О.Р. Захист від забруднення довкілля високомінералізованими розсолами шляхом їх підземного захоронення. *Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці: матеріали наук.-техн. конф. з між нар. участю "ІФНТУНГ-40" (м. Івано-Франківськ 16 – 20 квітня 2007р.): тези доповідей*. Ів.-Франківськ, 2007. 56 С.
83. Манюк О.Р., Мельник О.Д., Семчук Я.М. Підземне захоронення високомінералізованих розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей у виснаженні розробкою поклади вуглеводнів як ефективний захід захисту довкілля. *Екологічна безпека та раціональне природокористування*. 2008. №1(17). С. 142-147.

84. Манюк О.Р. Науково-практичні засади захисту довкілля від забруднення високомінералізованими розсолами (на прикладі Калуш-Голинського родовища калійних солей): Дис. ... канд. геол. наук: 21.06.01/Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2008. 125 с.
85. Манюк О.Р. Оцінка гідрогеологічних параметрів крейдового водоносного комплексу – горизонту захоронення високомінералізованих розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2007. №2(16). С. 155-158.
86. Манюк О.Р., Семчук Я.М. Оцінка сумісності пластових вод і високомінералізованих розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей при підземному їх захороненні. *Екологія і ресурси: зб. наук. пр. Інституту проблем національної безпеки*. К., 2007. №16. С. 38-41.
87. Овчинников А.М. Основные черты гидрогеологии восточных Карпат и Предкарпатья. *Труды Моск. геол.-развед. ин-та*, 1950. т. 25.
88. Оксана Манюк. Підземне захоронення високомінералізованих розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей як ефективний захід захисту довкілля. *Екологічна безпека: моніторинг, оцінка ризику, перспективні природоохоронні технології: матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю (м. Львів 29-30 травня 2007р.): тези доповідей*. Львів, 2007. С. 42.
89. Олійович О., Яремчук С., Гринів Я. Глини галогенних відкладів і кори звітрювання Калуш-Голинського родовища калійних солей (міоцен, Передкарпаття). *Мінерал. зб.* 2004. № 54, вип. 2. С. 214.
90. Павлюк В.І. Активізація екзогенних процесів на Стебницькому родовищі калійних солей, прогноз розвитку та заходи із зменшення їх негативного впливу. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. № 5 (151). Львів, 2011. С. 111 – 115.

91. Павлюк В.І. Вдосконалення системи геоекологічного моніторингу техногенно порушених соленосних молас Передкарпаття (на прикладі Стебницького родовища калійних солей): дис. ... канд. геол. наук.: 21.06.01/ДУ «Інститу геохімії навколишнього середовища НАН України», 2017. 197 с.
92. Павлюк В.І. Вплив геологічних факторів на екзогенні процеси міоценових соленосних відкладів Українського Передкарпаття. *Геологія і геохімія горючих копалин*. № 2 (151). Львів, 2010. С. 89 – 104.
93. Павлюк В.І. Вплив природно-техногенних факторів на формування еколого-геологічних умов в Передкарпатті (на прикладі родовища калійних солей «Стебник»). *Строительство и техногенная безопасность*. Сімферополь, 2010. № 33-34. С. 256 – 265.
94. Павлюк В.І. Вплив тектонічної будови Складчастих Карпат на структурні закономірності розвитку карстологічних процесів на прикладі Львівської області. Матеріали 5 міжнародної науково-практичної конференції «Інженерний захист територій і об'єктів у зв'язку з розвитком небезпечних геологічних процесів». Гурзуф, 2007. С. 31 – 33.
95. Павлюк В.І. Негативні наслідки неконтрольованого затоплення Стебницького рудника калійних солей (Передкарпаття, Україна). *Геологія і геохімія горючих копалин*. № 1-2 (158-159). Львів, 2012. С. 91 – 101.
96. Павлюк В.І. Особливості моніторингу екзогенних геологічних процесів в межах поширення техногенно порушених соленосних міоценових відкладів Передкарпаття. Матеріали 5 науково-практичної конференції «екологічна безпека техногенно перевантажених регіонів». Ялта, 2010. С. 36-37.
97. 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.
98. Подсчет запасов калийных солей Центрального поля Калушского рудника [отчет // В.П.Телегин, М.А.Буньков и др.]. КФ ВНИИГа. Калуш, 1964. 130 с

99. Послуги з відстеження, моніторингу забруднювачів і відновлення (Проведення екологічного моніторингу стану доквілля, контролю засоленості поверхневих і підземних вод, зон просідань та гірничих розробок над колишніми рудниками «Калуш», «Голинь» та «Ново-Голинь»): Звіт про надання послуг за договором № 4М (г/тема 11/2023) м. Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу 2023. 130 с.
100. Природные изотопы гидросферы. Под ред. В.И. Ферреро - Москва, Недра, 1975, 278с.
101. Проведення комплексних геологічних досліджень, спрямованих на визначення (прогнозування) змін природного стану геологічного середовища в місцях розробки калійних родовищ з метою запобігання їх негативного впливу на життєдіяльність людей та стан господарських і промислових об'єктів. (1999 – 2005). (звіт заключний). Державний науково-дослідний інститут галургії (НДІ «Галургія»). 2005 р.
102. Продовження моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей у 2009 році: звіт по г/д № 33/09. Частина 1. Калуш: Державне підприємство „Науково-дослідний інститут галургії”. 2009. 87 с.
103. Родіонов В.Є., Долін В.В., **Малькова Я.О.** Пристрій для експрес-вимірювання мінералізації розчину. Патент України на корисну модель № 147386. Зареєстровано 05.05.2021. – Бюл. № 18.
104. Рудько Г.И (отв.исполнитель). Отчёт по региональному изучению современных геологических процессов на территории Ивано-Франковской, Черновицкой, Тернопольской и Львовской областей Украины за 1989-1991 гг. Львів: ДГП “Західукргеологія”. Львівська ГРЕ, 1991р.
105. Рудько Г.І., Петришин В.Ю. Проблеми стабілізації екологічної ситуації в Калуському гірничопромисловому районі. Науково-практичний журнал. *Екологічні науки*. 2015. №7. С. 163.

106. Рудько Г. І., Шкіца Л. Є. Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2001. № 5-6. С. 68–71.
107. Свиридовский А.П. Отчет о результатах поисков и разведки пресных подземных вод для целей водоснабжения объектов МО СССР в 1985-1986 г., Львов, 1986, с. 46-54.
108. Семчук Я.М., Шкіца Л.Є. Вплив систем розробки калійних родовищ на геологічне середовище. *Уголь України*. 2004. №3. С.10-11.
109. Семчук Я.М. Дослідження порушення соляного масиву навколо виробок калійних шахт та впливу вологості на міцність порід / Я.М. Семчук, О.С. Малишевська. *Уголь України*. 2002. №2-3. С.22-23.
110. Семчук Я. М. Исследование влияния природных и техногенных факторов на формирование химического состава грунтовых вод Калуш-Голинского месторождения калийных солей. *Эвапориты Украины: сб. науч. тр. АН УССР, Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых*. Киев: Наук. думка, 1985. С. 143–151.
111. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Дослідження процесів розчинення та вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплення калійних шахт. *Хімічна промисловість України*. 2002. № 1. С. 9—12.
112. Семчук Я.М. Науково-практичні засади захисту довкілля від забруднення високомінералізованими розсолами (на прикладі Калуш - Голинського родовища калійних солей): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 11.00.11/Державний НДІ галургії. Калуш, 1994. 22 с.
113. Семчук Я.М., Савчук Л.Я. Екологічні проблеми Калуського гірничопромислового регіону та шляхи їх вирішення. *Науково-технічний журнал №1. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2010. 64 с.
114. Собо́тович Э.В. Справочник по изотопной геохимии Э.В.Собо́тович и др. - Москва, Энергоиздат, 1982.

115. Ступницький В.М., Жексимбаєв Ю.М., Федченко А.И. та ін. Отчет по переоценке запасов калийных солей Стебницкого месторождения Львовской области. Львівська ГРЕ. інв. № 4174. Львів, 1995. 377 с.
116. Телегин В.П., Скворцова К.В. Геологическое строение шахтного поля Сивка-Калушская. Ленинград: ВНИИГ, 1968.
117. Телегин В.П., Скворцова К.В. Стратиграфия и тектоника Восточного поля Голыни. Отчет по теме 67-60. Ленинград: ВНИИГ, 1967.
118. Фивег М.П. Палеогеографические проблемы соленакопления и формирования калийных пород. Проблемы соленакопления. Новосибирск: Наука, 1977. Т. 1. С.25-33.
119. Ходьков А.Е. Гидрогеологические условия соляных месторождений Прикарпатья. Сб. Материалы по гидрогеологии и геологической роли подземных вод. Л: Ленинградский университет, 1971. С. 50-69.
120. Ходьков А.Е. О процессах эпигенетического преобразования пород лангбейнит-каинитового ряда. Материалы по гидрогеологии и геологической роли подземных вод. 1971. С. 91 – 96.
121. Ходьков А.Е. Основные черты гидрогеологии важнейших эксплуатируемых соляных (калийных) месторождений. Материалы по гидрогеологии и геологической роли подземных вод. 1971. С. 4-71.
122. Чонка І.І., Левицька Ю.Л, Галла-Бобик С.В. Екологічна обстановка через добування мінеральних солей у Калуш-Голинському родовищі: вплив на ґрунти і водні об'єкти прилеглих територій. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту* (Сер. Хімія). 2019. № 2 (42). С. 96-104.
123. Шестопапов В.М., Лютий Г.Г., Саніна І.В. Сучасні підходи до гідрогеологічного районування України. *Мінеральні ресурси України*. 2019. No2. С.3-12; <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.3-12>
124. Шуровський О. Д., Анікеєв С. Г., Шамотко В. І., Дешиця С. А., Ніколаєнко О. А., Поплюйко А. Г. Геофізичний моніторинг екобезпечних геологічних

- процесів в агломерації м. Калуша. Екогелогія, *Мінеральні ресурси України*. 2012. С. 31-39.
125. Щербак О.В., Долін В.В. (мол.), Руденко І.М., Кошлякова Т.О., **Куцка Я.О.** Моделювання поверхні рівня ґрунтових вод як індикатора радіаційної безпеки території. Тези доповідей XV Міжнародної конференції «*Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти*». Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К., 2016. С. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600461>
126. Щербак О.В., Долін В.В. (мол.), Руденко І.М., Кошлякова Т.О., **Куцка Я.О.** Оцінка ефективності радіогідрогеологічного моніторингу в зоні впливу київського сховища радіоактивних відходів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Серія Геологія. 2016. № 2(73). С. 46–52.
127. Bagriy, S. M., Davybida, L. I., & Kuzmenko, E. D. Spatial modeling and prediction of environmental situation when filling Dombrowski quarry, GIS approach. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. (2). 09–111.
128. Boyer P.D., Graves D.G., Suelter C.H., Dempsly M.E. Simple procedure for conversion of oxygen of orthophosphate or water to carbon dioxide for oxygen-18 determination. *Anal. Chem.*, 1961, v. 33, p. 1906.
129. Brine Treatment, available at: <https://www.lenntech.fr/processes/brine-treatment.htm> (accessed 18 June 2020).
130. Craig, H., 1961. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural water. *Science*, 133: 1833-1834. <https://doi.org/10.1126/science.133.3467.1833>.
131. Dovhyi S., Korzhnev M. (Ed.). (2013) Criteria of ecological, geological and economic assessment and wastes' mineralogy of the mining and metallurgical complex of Kryvbas. Kyiv: Nika-Center. 228
- Gerstenberg H., Report on the Intereomparison for the Isotope Standards KH-2 and PEF-1. 18 p.
132. Gerstenberg H. Report on the Intereomparison for the Isotope Standards KH-2 and PEF-1. 18 p.

133. Haidin A., Zozulia I. Salt mines are dying. Available at: [https://zn.ua/ukr/article/print/energy\\_market/solyani\\_rudniki\\_ukrayini\\_ginut.htm](https://zn.ua/ukr/article/print/energy_market/solyani_rudniki_ukrayini_ginut.htm).
134. Ji X., Curcio E., Obaidani S. Al, Profio G. Di, Fontananova E., Drioli E. Membrane distillation-crystallization of seawater reverse osmosis brines. *Sep. Purif. Technol.* 2010. Issue 71. P. 76–82. doi: 10.1016/j.seppur.2009.11.004
135. Korin S.S. Budowa geologiczna mioceńskich formacji solonośnych ukraińskiego Przedkarpacia. *Przegląd Geologiczny*. vol 42. 1994. P. 744 – 747.
136. Korin S.S., Sadovyi Y.V. Przejawy solanek w kopalniach soli i natura ich powstawania. *Przegląd Geologiczny*. vol. 46. 1998. P. 155-158.
137. Kosharna S., **Malkova Y.** Methods and perspectives of combined ecological and economic regulation by an example of the Kalush-Golinsky potassium salt deposit // *Conference Proceedings, 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2021, Volume 2021, p.1 –5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2031>.
138. Kosharna S., **Malkova Y.**, Kozáková L., Frankova Z., Nadova, Kroslakova M, Sedlakova Z. Prospects for extraction of useful elements out of the brines of the Pre-carpathian downfold. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (2021), 4. p. 834-842 DOI:10.46544/AMS.v26i4.19.
139. Kostiv I. How to make Dombrovsky quarry safe and useful? Available at: <https://vikna.if.ua/news/category/articles/2019/01/14/94852/view>.
140. Kovalenko, I. O., Panasiuk, M. I., Skorbun, A. D., Sosonna, N. V., Ojovan, M. I., Shevchenko, O. L., & Onyshchenko, I. P. Correlation between chemical composition and <sup>90</sup>Sr concentrations in groundwater of the Chornobyl NPP industrial site. *Journal of Environmental Radioactivity*, 240, 106756. Doi:10.1016/j.jenvrad.2021.106756.
141. Kuzmenko, E. D., Maksymchuk, V. Y., Bagriy, S. M., Sapuzhak, O. Y., Chepurnyi, I. V., & Dzoba, U. O. (2018). On the relevance of using a complex combination of NIEMFE and EM methods in forecasting rock deformation. Paper presented at the

17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects,  
doi:10.3997/2214-4609.201801820;

142. Kuźniar V., Affairs. P. I. O. Deposit of potassium salts in Hołyniu. Warszawa, 1933. P. 7.
143. Kuźniar V. Glaserilgesteine von Stebnik. Bull. intern. Acad. Pol. Ser. A. Krakow, 1931.
144. **Malkova Y.**, Dolin V., Yakovlev Y. Formation regularities of liquid body of Dombrovsky quarry. Conference Proceedings, *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*, May 2020, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo079>.
145. . **Malkova Y.**, Dolin V., Yakovlev Y., Kuzmenko E., Shcherbak O. Conjugated effects between surface- and groundwater mineralization within the drainage zone of Dombrovsky quarry // *Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2021* May 2021. *Scopus*
146. **Malkova Y.**, Kopylenko O., Panasiuk M., Sosonna N., Bagriy S., Onyshchenko I. Hydrogeochemical conditions of the Dombrovsky quarry as a source of groundwater pollution // *16th International Conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*. Nov 2022, Volume 2022, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580186>.
147. **Malkova. Y.**, Kosharna S. Brine processing as one of the ways to overcome Pre-Carpathian Trough's ecological problems. *Annali d'Italia* (Italy's scientific journal). No 12/2020. p.20.
148. **Malkova, Y. O.**, Kovalenko, I. O., Dolin, V. V., Demikhov, Y. M., Panasiuk, M. I., Sosonna, N. V., Buzynnyi, M. G. Isotope composition of groundwater and surface waters in the area of the Dombrovsky quarry of Kalush-Golinsk deposit of potassium salts. *Journal of Environmental Radioactivity*. 257 (2023). 107083. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107083>;

149. Pramanik B.K. Jegatheesan V., Shu Li A review of the management and treatment of brine solutions. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2017, Vol.3(4). P. 625-658. <https://doi.org/10.1039/C6EW00339G>.
150. Program for the Development of Public-Private Partnerships in Ukraine; Practical Guide for the Preparation of Techno-Economic Assessment. USAID. (2012). Available at: <http://ppp-ukraine.org/wp-content/uploads/2015/03/PracticalGuide.pdf>
151. Savchak I. Why did the Dombrovsky quarry become a source of contamination? Available at: <https://vikna.if.ua/news/category/articles/2019/02/11/95244/view>
152. Sosonna N., Panasiuk M., **Malkova Ya.**, Kovalenko I., Bagriy S., Buzynnyi M. Mathematical model of hydrogeological conditions and forecasts of groundwater salinization under the influence of Dombrovsky quarry of Kalush-Golinsky potassium salt deposit. *17th International conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*. Nov 2023, Volume 2023, p.1–5. DOI: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2023/11/Mon23-185.pdf>.