

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Кваліфікаційна праця  
на правах рукопису

**ДЖУМЕЛЯ ЕЛЬВІРА АНАТОЛІВНА**

УДК 504.064.36; 504.058; 628:47

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ**

183 – Технології захисту навколишнього середовища  
18 "Виробництво та технології"

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

\_\_\_\_\_ / Е.А. Джумеля /  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Погребенник Володимир Дмитрович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Львів – 2020

## АНОТАЦІЯ

**Джумеля Е. А. Екологічна безпека гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2020.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради ДФ **35.052.039** Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

У дисертаційному дослідженні вирішено важливе науково-практичне завдання – покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

У результаті проведеного наукового аналізу визначено проблемні питання та можливі напрямки подальшого розвитку природоохоронних заходів на територіях гірничо-хімічних підприємств, які знаходяться на стадії ліквідації (з охорони ґрунтів, водного середовища та в сфері поводження з відходами).

Розроблено засади екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації, в основу яких покладено принцип комплексного екологічного моніторингу, що покращить стан довкілля.

Обґрунтовано науковий підхід щодо створення системи комплексного екологічного моніторингу на основі збору, зберігання та опрацювання даних про забруднення різних елементів середовища (ґрунтів, поверхневих та підземних вод, атмосферного повітря), що забезпечить прогнозування екологічних змін території гірничо-хімічного підприємства.

Виконано дослідження, спрямовані на удосконалення методології оцінювання показників, що визначають рівень екологічної небезпеки після

закриття гірничо-хімічного підприємства на основі аналізу процесів впливу на довкілля основних джерел небезпеки.

Подано експериментальні дослідження впливу відходів гірничо-хімічного підприємства на ґрунти. Експериментально отримано показники забруднення важкими металами ґрунтів на території Роздільського ДГХП "Сірка" та встановлено їх суттєве перевищення ГДК.

Досліджено гідрохімічні показники поверхневих та підземних вод Роздільського гірничо-хімічного підприємства "Сірка" та р. Дністер. Встановлено перевищення ГДК за багатьма показниками. Для визначення якісного стану поверхневих водойм використано ефективний метод – визначення інтегрального екологічного індексу якості води. Встановлено, що водні об'єкти Роздільського ДГХП «Сірка» за гідрохімічним індексом належать до вод із задовільним, поганим і дуже поганим екологічним станом.

Розроблено структуру інформаційно-аналітичної системи моніторингу, яка зберігає та опрацьовує отримані дані, аналізує просторові характеристики та динаміку рівнів забруднення на досліджуваній території, візуалізує поля забруднення з прив'язкою до географічних координат для зниження рівня екологічної небезпеки довкілля в зоні впливу гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації. Це дасть змогу приймати оптимальні екологічні рішення на етапі ліквідації підприємства і оперативно задовольняти потреби зацікавлених організацій та громадян щодо покращення стану навколишнього середовища.

Розроблені рекомендації щодо реформування та вдосконалення системи моніторингу гірничо-хімічних підприємств в післяліквідаційний період і управління промисловими відходами оптимізують систему державного управління та поступово і остаточно мінімізують рівень екологічної небезпеки гірничо-хімічних підприємств.

*Ключові слова:* екологічна безпека, охорона довкілля, екологічний моніторинг, гірничо-хімічне підприємство, важкі метали, екологічна рівновага, стадія ліквідації.

## ABSTRACT

***Elvira Dzhumelia. Ecological safety of mining and chemical enterprise at the stage of liquidation.*** – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in specialty 183 – Environmental protection technologies. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2020.

The defense of the dissertation will be held at the meeting of the Specialized Scientific Council DF 35.052.039 in Lviv Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The important scientific and practical task was solved in the dissertation research – improving environmental safety of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation.

As a result of the conducted scientific analysis, the problematic issues and possible directions of further development of environmental measures at mining and chemical enterprises, which are at the stage of liquidation (for soil protection, aquatic environment, and in the field of waste management) are identified.

The principles of ecological safety of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation are developed, which are based on the principle of complex ecological monitoring that will improve the state of the environment.

The scientific approach to the creation of a system of integrated environmental monitoring based on the collection, storage and processing of data on pollution of various elements of the environment (soil, surface and groundwater, air), which will provide forecasting of environmental changes in the mining and chemical enterprise.

Research aimed at improving the methodology for assessing indicators that determine the level of environmental hazard of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation based on the analysis of the processes of the environmental impact of the main sources of danger.

Experimental studies of the impact of waste from a mining and chemical enterprise on soils were performed. Indicators of heavy metal pollution of the soil environment on the territory of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" were experimentally obtained and their significant excess of the MPC was established.

It was explored the hydrochemical parameters of surface and groundwater of the Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" and the Dniester River. Exceedance of the maximum permissible concentration of many indicators is established. To determine the quality of surface water bodies used an effective method – to determine the integrated ecological index of water quality. It is established that the water bodies of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" according to the hydrochemical index belong to waters with satisfactory, bad, and very bad ecological conditions.

The structure of information and analytical monitoring system is developed, which stores and processes the obtained data, analyzes spatial characteristics and dynamics of pollution levels in the study area, visualizes pollution fields linked to geographical coordinates to reduce the level of environmental hazard in the area of influence of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation. This will allow to make optimal environmental decisions at the stage of liquidation of the enterprise and promptly meet the needs of interested organizations and citizens to improve the environment.

The developed recommendations for reforming and improving the monitoring system of mining and chemical enterprises in the post-liquidation period and industrial waste management optimize the system of public administration and gradually and definitively minimize the level of environmental hazard of mining and chemical enterprises.

*Key words:* ecological safety, environmental protection, ecological monitoring, mining and chemical enterprise, heavy metals, ecological balance, liquidation stage.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Монографії*

1. V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, "Evaluation of Impact of Mining and Chemical Enterprise on Ecological State of the Water Environment," in *Water Security: Monograph*, Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, pp. 155-169, 2016.

2. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Екологічний аспект створення стабільної території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," у *Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій: колективна монографія*, ред. Писаренко П.В., Чайка Т.О., Ласло О.О., Полтава, Сімон, с. 56-66, 2016.

3. В. Погребенник, В. Дяків, Е. Джумеля та М. Ковальчук, "Оцінювання сучасного стану гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації," у *Науковий та педагогічний супровід сталого розвитку: Дискурс 2019: колективна монографія*, ред. С. Д. Рудишин та І. М. Коренева, Суми, Вінниченко М. Д., с. 38-55, 2019.

### *Статті, які включені до наукометричних баз даних*

4. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, O. Korostynska, A. Mason, M. Cygnar, "Technogenic pollution of soil due to mining and chemical enterprises," *16th International Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. Conferences Proceeding*, Albena, pp. 363-370, 2016. (Web of Science)

5. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, A. Mason, M. Cygnar, "X-Ray fluorescent method of heavy metals detection in soils of mining and chemical enterprises," *9th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE): proceedings, 1st August - 1st September 2016*, Liverpool, Liverpool John Moores university, Al Khawarizimi international college, Leeds Backett University, pp. 323-328, 2017. (Web of Science, Scopus)

6. V. Pohrebennyk, O. Mitryasova, E. Dzhumelia, A. Kochanek, "Evaluation of surface water quality in mining and chemical industry," *17th International*

*multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017*, Albena, pp. 425-432, 2017. (Scopus)

7. V. Pohrebennyk, A. Kłos-Witkowska, O. Mitryasova, E. Dzhumelia, "The role of monitoring the territory of industrial mining and chemical complexes at the stage of liquidation," *17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017*, Vienna, pp. 383-398, 2017. (Scopus)

8. V. Pohrebennyk, M. Karpinski, E. Dzhumelia, A. Kłos-Witkowska, P. Falat, "Water bodies pollution of the mining and chemical enterprise," *18th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2018. Ecology and environmental protection: proceedings*, pp. 1035-1042, 2018. (Scopus)

9. V. Pohrebennyk, P. Koszelnik, O. Mitryasova, E. Dzhumelia and M. Zdeb, "Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 9, pp. 53-61, 2019. (Web of Science, Scopus)

10. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, "Environmental assessment of the impact of tars on the territory of the Rozdil state mining and chemical enterprise "Sirka" (Ukraine)," *Studies in Systems, Decision and Control, T. 1, Vol. 198: Sustainable production: novel trends in energy, environment and material systems*, Springer, pp. 201-214, 2020. (Scopus)

**Стаття у науковому фаховому виданні України, яке включено до наукометричної бази даних Index Copernicus**

11. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Акустичні методи вимірювання концентрації домішок у речовині," *Комп'ютерні технології друкарства*, № 2 (40), с. 82-91, 2018. (Index Copernicus, фахове видання)

**Статті у наукових фахових виданнях України**

12. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, "The methodology for design of informational and analytical system for environmental monitoring of mining and chemical enterprise in the liquidation," *Environmental Problems = Екологічні проблеми*, Vol. 2, № 4, pp. 215-220, 2017. (фахове видання)

13. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, "Environmental hazards of the mining and chemical enterprises territory," *Екологічна безпека та*

*природокористування: збірник наукових праць*, № 1 (29), с. 40-53, 2019. (фахове видання)

14. В. Д. Погребенник, І. І. Коваль, Е. А. Джумеля, "Тенденції розвитку методів та систем управління відходами," *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, Т. 29, № 1, с. 78-82, 2019. (фахове видання)

15. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Засади створення геоінформаційних систем моніторингу територій гірничо-хімічних підприємств," *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, Т. 29, № 7, с. 115-119, 2019. (фахове видання)

#### ***Публікації в матеріалах конференцій***

16. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, М.О. Лесик, "Стан ґрунтів на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *V Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 23-26 вересня 2015, с. 196.

17. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Оцінювання вмісту важких металів у ґрунті біля відходів фосфогіпсу Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *X Міжнар. наук.-практ. конф. "Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів"*, Харків, 20-21 жовтня 2015 р., с. 25-27.

18. V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, "Environmental control of phosphogypsum and tars of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sulfur"," in *V International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 26-28 November 2015, pp. 458-459.

19. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Екологічне оцінювання стану території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *I Міжн. наук.-практ. конф. Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій*, Полтава, 26 лютого 2016, с. 107-110.



20. В. Д. Погребенник та Е.А. Джумеля, "Екологічні проблеми водних об'єктів гірничо-хімічної промисловості," на *Міжнар. наук.-техн. конф. "Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів"*, Харків, 27-28 квітня 2016 р., с. 145-147.

21. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Загроза екологічній безпеці на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *Міжнар. наук. конф. "Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку"*, Івано-Франківськ, 10-11 травня 2016 р., с. 158-161.

22. Е. Джумеля, В. Погребенник, М. Цигнар, А. Коханек та О. Коростинська, "Екологічні проблеми техногенних водойм Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *XV міжнар. наук.-практ. конф. "Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання"*, Львів, 26-27 травня 2016 р., с. 6-10.

23. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Сучасний стан техногенних водойм Львівщини," на *Міжнар. наук. конф. молодих вчених "Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів"*, Одеса, 1-3 червня 2016 р. с. 88-92.

24. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Екологічний моніторинг ґрунтів території гірничо-хімічного підприємства," на *4-й Міжнар. конгресі "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування"*, Львів, 21-23 вересня 2016 р., с. 25.

25. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Вплив гірничо-хімічної промисловості на водні ресурси," на *III Міжнар. наук.-практ. конф. "Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення"*, Дрогобич, 12-14 жовтня 2016 р., с. 42-44.

26. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, " Екологічна безпека території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *Всеукр. наук.-практ. конф. "Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика"*, Харків, 24 листопада 2016 р., с. 188-189.

27. E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, "Environmental problems of soils during the liquidation Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka"," in *6th International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 24-26 November 2016, pp. 480-481.

28. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Визначення екологічних ризиків гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *Міжнар. наук.-практ. конф. "ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації"*, Івано-Франківськ, 22-25 березня 2017, с. 144-145.

29. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Виснаження природних ресурсів і забруднення довкілля як єдиний процес," на *Семінарі до 60-річчя доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри екології та збалансованого природокористування, заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого "Сталий розвиток - погляд у майбутнє"*, 15 вересня 2017 р., с. 30, 2017.

30. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Інформаційно-аналітична система моніторингу водних об'єктів гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *VI Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 20-22 вересня 2017, с. 175.

31. V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, "Environmental impact of mining and chemical industry," in *VII International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 23-25 November 2017, pp. 130-131.

32. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Еколого-гідрологічні проблеми після закриття гірничо-хімічного підприємства," на *I міжнар. наук. симпозиумі SDEV'2018 "Сталий розвиток – стан та перспективи"*, Львів-Славське, 28 лютого – 3 березня 2018 р., с. 67-68.

33. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Вплив промислових відходів на якість води," на *17 міжнар. наук.-практ. конф. "Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання"*, Львів, 24-25 травня 2018 р., с. 156-159.

34. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Проблеми рекультивації території в зоні діяльності Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *I Всеукр. наук.-практ. конф. "Передумови та перспективи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу"*, Полтава, 28 травня 2018 р., с. 113-115.

35. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Антропогенний вплив на довкілля при діяльності гірничо-хімічного підприємства," на *II Міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2018, с. 15.

36. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Проблеми зберігання гудронів на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка» (Україна) та їх вплив на довкілля," на *5-й Міжнар. конгресі "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування"*, 26-29 вересня 2018 р., с. 44.

37. E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, "The ecological monitoring system of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation," in *VIII International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 22-24 November 2018, pp. 288-289.

38. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Моніторинг довкілля гірничо-хімічних районів після завершення експлуатації," на *III міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2019 р., с. 8.

39. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Екологічний моніторинг підземних вод гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *VII Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology – 2019)*, Вінниця, 25-27 вересня 2019, с. 109.

40. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Екологічна безпека території гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації," на *VI Міжнар. наук.-практ. конф. "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"*, Трускавець, 7-11 жовтня 2019 р., с. 127-131.

41. E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, "Remote environmental monitoring of the mining and chemical enterprise territory at the stage of liquidation," in *9th International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, November, 21-23, 2019, pp. 217-219.

42. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Дослідження зміни складу і властивостей показників води прилеглих територій до гірничо-хімічних підприємств," на *II Міжнар. наук. симпозиумі "Сталий розвиток – стан та перспективи"*, Львів-Славське, 12-15 лютого 2020 р., с. 161-164.

43. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Якість підземних вод після закриття гірничо-хімічного підприємства," на *IV Міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 1-3 квітня 2020 р., с. 14-15.

44. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Методи оцінювання та прогнозування рівня екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств в післяексплуатаційний період," на *Міжнар. наук. конф. молодих вчених "Регіональні проблеми охорони довкілля"*, Одеса, 1-3 червня 2020 р., с.50-52.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....</b>	<b>15</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>16</b>
 <b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНОГО СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧО-ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....</b>	<b>22</b>
1.1 Гірничі підприємства з видобутком сірки як об'єкти наукових досліджень .....	22
1.2. Вплив процесу виробництва мінеральних добрив на довкілля .....	29
1.3. Вплив гірничо-хімічної діяльності на екзогенні геологічні процеси ....	31
1.4. Аналіз сучасного стану досягнень з питань забезпечення екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства .....	33
1.5. Екологічні проблеми гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.....	40
1.6. Вибір і обґрунтування напрямів досліджень .....	52
1.7. Висновки до розділу 1 .....	53
 <b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ .....</b>	<b>55</b>
2.1. Екологічні проблеми під час ліквідації та рекультивації гірничо-хімічного підприємства .....	55
2.2. Джерела екологічної небезпеки.....	59
2.3. Стан екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.....	70
2.4. Методи побудови системи екологічного моніторингу зони впливу гірничо-хімічного підприємства після завершення експлуатації .....	78
2.5. Висновки до розділу 2 .....	81
 <b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ РОЗДІЛЬСЬКИМ ДГХП "СІРКА" .....</b>	<b>83</b>
3.1. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах.....	83
3.2. Методи визначення забруднювачів у ґрунтах .....	87
3.3. Результати експериментальних досліджень ґрунтів .....	91
3.3.1. Вміст важких металів біля відвалу фосфогіпсу.....	92
3.3.2. Вміст важких металів на території біля гудронів.....	95

	14
3.3.3. Хімічний склад хвостів збагачення сірки.....	99
3.3.4. Динаміка зміни вмісту важких металів у ґрунтах .....	102
3.4. Висновки до розділу 3 .....	108
<b>РОЗДІЛ 4</b>	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА У МЕЖАХ ВПЛИВУ ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ .....</b>	<b>110</b>
4.1. Експериментальне оцінювання забруднення водного середовища на території Роздільського ДГХП "Сірка" .....	110
4.2. Забруднення підземних вод території Роздільського ДГХП "Сірка" ..	125
4.3. Зміна складу і властивостей показників води прилеглих територій до гірничо-хімічних підприємств .....	129
4.4. Висновки до розділу 4 .....	133
<b>РОЗДІЛ 5</b>	
<b>РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО- АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ ГІРНИЧО- ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ .....</b>	<b>134</b>
5.1. Екологічна безпека в зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка» та заводу складних мінеральних добрив .....	134
5.2. Методи підвищення екологічної безпеки в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" .....	140
5.2.1. Акустичний метод вимірювання концентрації домішок у речовині.....	140
5.2.2. Дистанційний екологічний моніторинг території гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації.....	145
5.3. Інформаційно-аналітична система моніторингу території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації .....	150
5.4. Висновки до розділу 5 .....	162
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>164</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>166</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>191</b>
Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертації .....	191
Додаток Б. Акти впровадження.....	198

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

ІАСМ – інформаційно-аналітична система моніторингу

БСК<sub>5</sub> – біологічне споживання кисню

ВАТ – відкрите акціонерне товариство

ВГР – відкриті гірничі роботи

ВМ – важкі метали

ГДК – гранично допустима концентрація

ГДР – гранично допустимий рівень

ГПВ – гірничопромислові відходи

ГПК – гірничопромисловий комплекс

ДГХП – державне гірничо-хімічне підприємство

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

ДП – державне підприємство

ЗУ – Закон України

ПВ – побутові відходи

ПВС – підземне виплавлення сірки

ПНО – потенційно небезпечний об'єкт

ПТК – природно-техногенний комплекс

ПТО – природно-техногенний об'єкт

## ВСТУП

### **Актуальність роботи.**

Розвиток гірничо-хімічної промисловості, як правило, призводить до погіршення якості довкілля. Екологічна ситуація в межах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств є однією з найбільш напружених в Україні. Проблема закриття гірничо-хімічних підприємств та трансформації техногенних ландшафтів в природний стан в контексті вирішення пріоритетних екологічних проблем є актуальною для нашої держави на поточному етапі її розвитку та залишається в найближчому майбутньому, оскільки з кожним роком збільшується кількість гірничо-хімічних підприємств, що завершують свою діяльність, а проекти ліквідації не виконуються в повному обсязі.

Також зараз недостатнім є оцінювання екологічного стану територій, порушених гірничо-хімічною діяльністю. Забезпечення екологічної безпеки під час ліквідації гірничо-хімічного підприємства здійснюється на підставі результатів екологічного моніторингу.

Створення системи моніторингу порушених територій є головною ланкою у сфері управління екологічною безпекою території, бо вчасно надана інформація про екологічний стан забезпечить ефективне усунення наслідків екологічної небезпеки з мінімальними ризиками.

Тому наукове обґрунтування заходів і засобів покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації є важливим і актуальним завданням.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційне дослідження здійснювалося в рамках виконання кафедральної науково-дослідної роботи (номер державної реєстрації 0117U004014) "Методи та засоби підвищення екологічної безпеки техногенних об'єктів регіонів" (2017–2020 рр., виконавець).



**Мета дисертаційної роботи** – покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації (на прикладі Роздільського ДГХП "Сірка").

**Завдання дисертаційного дослідження:**

- дослідити сучасний екологічний стан гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації;
- розробити методи покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації;
- експериментально визначити рівень забруднення ґрунтів Роздільським ДГХП "Сірка";
- оцінити стан поверхневих та підземних вод на території Роздільського ДГХП "Сірка";
- розробити методи побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

**Об'єкт дослідження** – процеси впливу гірничо-хімічного підприємства на довкілля.

**Предмет дослідження** – оцінювання стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства в післяліквідаційний період методами екологічного моніторингу.

**Методи досліджень.**

Для досягнення визначеної мети та розв'язання поставлених завдань використано теоретичні й експериментальні методи. Серед теоретичних методів використовували методи аналізу і синтезу для узагальнення літературних джерел та виявлення основних напрямків досліджень. Методом моделювання створено математичні моделі для побудови геоінформаційної системи моніторингу гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації, визначення екологічних показників довкілля. Експериментальні дослідження виконували в польових та лабораторних умовах, останні з використанням мас-спектрального методу та методу рентгенівської дифракції. Формалізацію результатів моделювання виконували з використанням програмно-

функціонального забезпечення MS Excel, Google Earth, QGIS, draw.io, NASA Giovanni. Методи математичної статистики застосовували для опрацювання одержаних експериментальних даних, оцінювання їх достовірності та відтворюваності, визначення результатів експериментального дослідження, зокрема, для дослідження динаміки поширення елементного складу у ґрунтах.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі наукові результати:

– розроблено засади екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації, в основу яких покладено принцип комплексного екологічного моніторингу, що покращить стан довкілля;

– обґрунтовано науковий підхід щодо створення системи комплексного екологічного моніторингу на основі збору, зберігання та опрацювання даних забруднення різних елементів середовища (ґрунтів, поверхневих та підземних вод, атмосферного повітря), що забезпечить прогнозування екологічних змін території гірничо-хімічного підприємства;

– уперше встановлено за допомогою мас-спектрального методу та рентгенівської дифракції значне перевищення концентрації Sr та As у ґрунті на території Роздільського ДГХП "Сірка", що дало змогу оцінити їх антропогенний вплив;

– уперше визначено гідрохімічний індекс якості води техногенних озер на території Роздільського ДГХП "Сірка" і встановлено, що водні об'єкти території підприємства належать до вод із задовільним, поганим та дуже поганим екологічним станом, що дозволить обґрунтувати стратегію управління промисловими відходами для мінімізації рівня екологічної небезпеки;

– розроблено методи побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу, яка зберігає та опрацьовує отримані дані, аналізує просторові характеристики та динаміку рівнів забруднення на досліджуваній території, візуалізує поля забруднення з прив'язкою до географічних координат для

зниження рівня екологічної небезпеки довкілля в зоні впливу гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Розроблено методичні та науково-практичні підходи, які можна використати для:

- прогнозування рівня забруднення та підвищення екологічної безпеки території Роздільського ДГХП "Сірка", зокрема для вивчення та прогнозування небезпечних геологічних процесів, забруднень водного та ґрунтового середовищ.

- розроблення рекомендацій для покращення стану екологічної безпеки території гірничо-хімічного підприємства;

- розроблення інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу гірничо-хімічного підприємства на стадії завершення експлуатації. Це дасть змогу приймати оптимальні екологічні рішення на етапі ліквідації підприємства і оперативно задовольняти потреби зацікавлених організацій та громадян щодо покращення стану навколишнього середовища.

Практичні рекомендації щодо підвищення рівня екологічної безпеки території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації використано у ТзОВ "Інститут "ГІРХІМПРОМ"" під час виконання науково-технічної роботи "Інвентаризація накопичених промислових відходів на території Роздільського ДГХП "Сірка", Миколаївський район, Львівська область", (2017 р.) та в Департаменті екології природних ресурсів Львівської облдержадміністрації. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено в кафедральну науково-дослідну роботу "Методи та засоби підвищення екологічної безпеки техногенних об'єктів регіонів" (номер державної реєстрації 0117U004014), та у навчальний процес за спеціальністю 183 "Технології захисту навколишнього середовища" на кафедрі екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету "Львівська політехніка" під час викладання таких дисциплін: "Технології

перероблення та утилізації відходів", "Технології захисту навколишнього середовища".

**Особистий внесок** здобувача полягає у формулюванні мети та основних завдань досліджень, обґрунтуванні наукових положень. Автором проаналізовано літературні джерела за темою дисертації, виконано експериментальні дослідження, систематизовано і узагальнено отримані результати та висновки. Автору також належать наукові положення, що виносяться на захист. Постановка завдань та їхнє обговорення здійснено під керівництвом д.т.н., проф. Погребенника В.Д.

### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення дисертаційного дослідження та практичні результати доповідалися на 16<sup>th</sup>, 17<sup>th</sup>, 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM, (Bulgaria, 2016, 2017, 2018); 9<sup>th</sup> International Conference on Developments in e-Systems Engineering, (UK, 2016); 4-му і 5-му Конгресах "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування", (Львів, 2016, 2018, 2020); 5-му, 6-му, 7-му всеукраїнських з'їздах екологів з міжнародною участю (Вінниця, 2015, 2017, 2019); Міжнародній науково-практичній конференції (НПК) "Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів" (Харків, 2015); 5<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup> International Youth Science Forum "Litteris et Artibus"; I Міжнародній НПК "Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій" (Полтава, 2016); X Всеукраїнській НПК молодих учених і студентів "Екологічна безпека держави" (Київ, 2016); Міжнародній науковій конференції "Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку" (Івано-Франківськ, 2016); 15ій, 17ій Міжнародній НПК "Ресурси природних вод Карпатського регіону" (Львів, 2016, 2018, 2020); Міжнародній науковій конференції молодих вчених "Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів" (Одеса, 2016); 7му Всесвітньому конгресі "Авіація у XXI столітті" (Київ, 2016); III міжнародній НПК "Стан природних

ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення" (Дрогобич, 2016); Всеукраїнській НПК "Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика" (Харків, 2016); Міжнародній НПК "ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації" (Івано-Франківськ, 2017); Міжнародних наукових симпозиумах SDEV`2018 і SDEV`2020 "Сталий розвиток – стан та перспективи" (Львів-Славське, 2018, 2020); 2ій, 3ій і 4ій Міжнародній НПК "Прикладні науково-технічні дослідження" (Івано-Франківськ, 2018, 2019, 2020) та ін.

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 44 наукових працях, з яких: 3 розділи у колективних монографіях, 7 статей у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus і Web of Science, 5 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук, одна з них у наукометричній базі даних Index Copernicus та 29 доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота містить вступ, 5 розділів, загальні висновки, список використаних літературних джерел та додатки. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 165 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 70 рисунками, текст містить 16 таблиць, у бібліографії наведено 216 літературних джерел.

# РОЗДІЛ 1

## ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНОГО СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧО-ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

### 1.1 Гірничі підприємства з видобутком сірки як об'єкти наукових досліджень

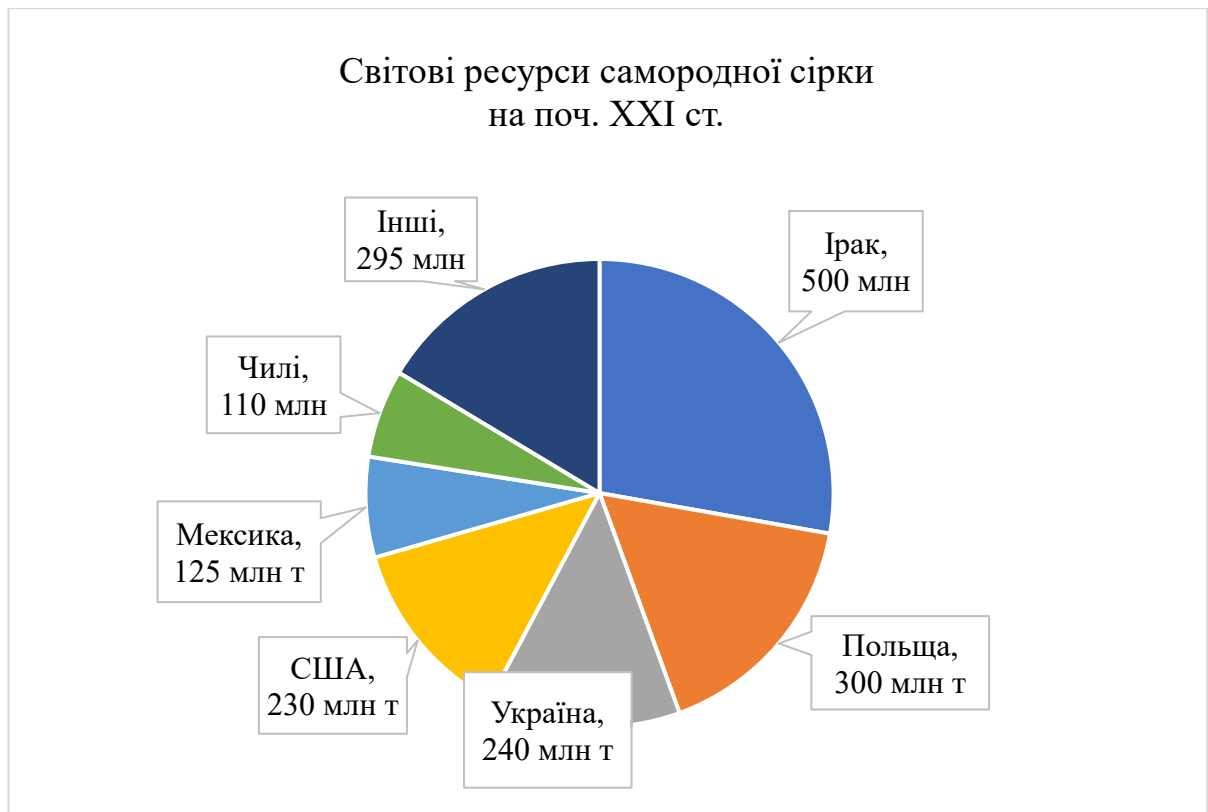
Одним із важливих чинників розвитку країни є наявність різноманітних природних ресурсів. Самородна сірка – мінерал, який утворюється за допомогою пневматолітового процесу, тобто мінерал утворюється із газоподібних компонентів які випаровуються з магми при її охолодженні [1, 2, 3].

Родовища самородної сірки у світі розміщуються вкрай нерівномірно. Основні запаси, що розробляються у великих масштабах, зосереджено в Іраку, США (штати Луїзіана і Юта), Мексиці, Чилі, Польщі, Туркменії, Росії, Італії (о. Сицилія), Японії (рис. 1.1) [3, 4].

За видобутком самородної сірки США займають провідне місце серед країн світу. Головний район видобутку – Техас-Луїзіанський і Західно-Техаський сірконосні басейни, що належать до сірконосної провінції Мексиканської затоки. Тут розташовано понад 40 великих родовищ сірки, пов'язаних з соляними куполами, які експлуатують методом Фраша (підземна виплавка).

Родовища самородної сірки в Польщі (поклади сірки оцінюють у 629 млн т), відкриті у 1953 р., належать до числа найбільших у світі і розташовано в північній частині Передкарпатського прогину. Головне з них – Тарнобжег (Пясечно, Махів, Єзірко, Осієк). Родовища пластового типу (Гжібув, Рудники, Барану, Махув та ін.) пов'язано з гіпсом і ангідритами міоцену, в яких вони заповнюють каверни і тріщини. Потужність сірковмісних пластів від декількох метрів до декількох десятків метрів. Середній вміст сірки у породі становить 25%, глибина покладів від 20 до 350 м. Виявлено родовища

сірки також біля Лубачева (Горинець, Башня). Донедавна Польща була одним із найбільших світових виробників сірки. Виробництво самородної сірки зараз здійснюється лише з родовища Осіск методом свердловинної експлуатації. Це остання велика шахта самородної сірки у світі, в якій працюють близько 460 осіб. За винятком цієї шахти, з вулканічних родовищ добувають невеликі кількості самородної сірки [5, 6, 7].



**Рис. 1.1.** Світові ресурси самородної сірки на початку XXI ст.,  
всього – 1,8 млрд т [8]

За запасами залізної, марганцевої, титанової й уранової руди Україна посідає перше місце серед країн Європи, за запасами чистого заліза – 4 місце у світі. На її території сконцентровано близько 10% світових запасів марганцевої руди.

В Україні родовища самородної сірки вперше відкрито у 1887 р. на Керченському півострові (Чокур-Кояцьке родовище), його експлуатацію

розпочато у 1928 р. (у 1930-их рр. річний видобуток 600-700 т), припинено у 1941 р. через майже повне вичерпання сировини.

На території України Державним балансом запасів налічується десять родовищ самородної сірки. Загальні їхні запаси склали 195,840 тис. т, підтверджені – 166 293 тис. т. Отже, Україна входить у число світових лідерів за запасами самородної сірки. У СРСР запаси української самородної сірки склали 85,2% від усіх підтверджених запасів і забезпечували 80,8% видобутку.

Львівська область – найпотужніший гірничопромисловий регіон на заході України. На його території нараховують понад 620 родовищ різних корисних копалин, з яких 247 – експлуатуються. У регіоні видобувають і збагачують кам'яне вугілля, нафту, газ, самородну сірку, калійні солі та чимало інших корисних копалин. Родовища самородної сірки Львівської області розташовано в зоні стикування Волино-Подільської плити з Передкарпатським крайовим прогином, утворюючи Передкарпатський сірконосний басейн, який відкрито у 1950-х. Він є найбагатший у Східній Європі, один з найбагатших у світі. За обсягом розвіданих запасів Прикарпатський сірчаний басейн посідав одне з провідних місць у світі і перше серед країн СНД за видобутком і експортом сірки. У межах України (він залягає також на території Польщі й Румунії) басейн простягається до 300 км завдовжки і 40-50 км завширшки. Поклади сірки залягають у шарах міоцену на глибині від 20-30 до 300-500 м; більшість їх можна добувати відкритим способом. Існує близько 20 родовищ сірки. Найбільші з них – Роздільське (на його базі з 1958 р. потужний гірничо-хімічний комбінат), Немирівське, Язівське (на його базі Яворівський гірничо-хімічний комбінат), Любенське, Сороківське, Гуменецьке, Жидачівське, Подорожнянське, Товмацьке. Вміст сірки у сірчаній руді коливається від 14 до 27%. На Роздільському комбінаті застосовувався автоклавовий витоп сірки, на Яворівському – підземний [3, 8, 9].



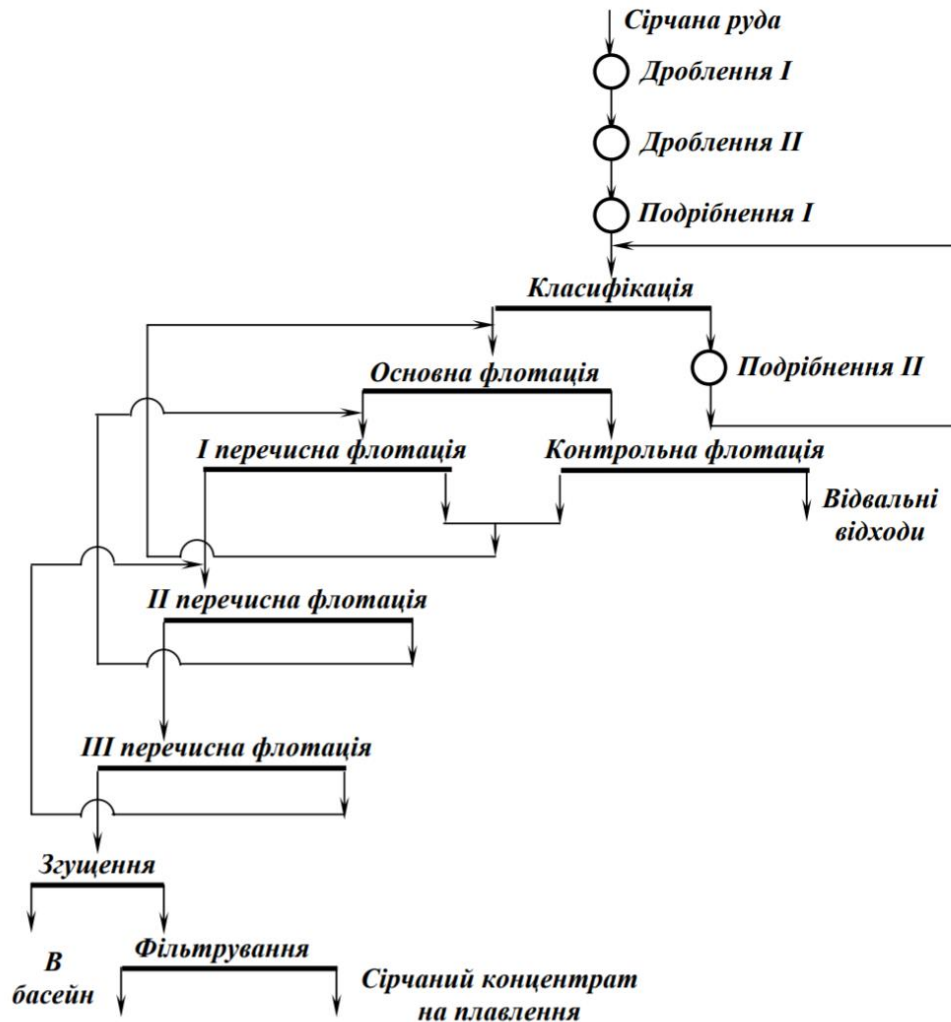
У 1950 р. геологічна партія "Укргазу" знайшла сірку поблизу с. Розділ Миколаївського району Львівської області, що поклато початок планомірному освоєнню Передкарпатського сірчаного басейну. У 1952 р. прийнято спеціальну постанову щодо проектування і будівництва на базі розвіданих запасів природної сірки Роздільського гірничо-хімічного комбінату (нині Роздільське ДГХП "Сірка", м. Новий Розділ, Львівська обл.), будівництво якого розпочато у 1953 р. Освоєння Роздільського родовища сірки розпочато в липні 1956 року [10, 11].

Будівництво Роздільського ДГХП "Сірка" закінчено у 1958 р. 4 листопада 1958 р. було видано першу продукцію – сірку. Дуже складним і тяжким був процес освоєння і розвитку рудної бази комбінату через сильне обводнення території покладів руд, що містять сірку (басейн Дністра). На будівництві кар'єрів і під час експлуатаційних робіт на Роздільському комбінаті застосовано нову вітчизняну високопродуктивну техніку (роторні екскаватори продуктивністю 600 м<sup>3</sup>/год з конвеєрним транспортом, потужні крокуючі екскаватори, шоківі й молоткові дробарки продуктивністю 500 т/год, 50-кубові автоклави тощо). Для збагачення сірчаної руди застосовували метод флотації, при якому вміст сірки в концентраті доведено до 75 %. Вперше у світовій практиці науково доведено і впроваджено у виробництво нову технологію збагачення сірчаних руд і застосовано для виплавки сірки автоклавовий, фазовий і термічний методи [9, 12].

Уже в 1961 році вироблено 474,5 тис. т сірки. В 1964 році прийнято рішення про збільшення потужності комбінату до 1,2 млн. т сірки на рік.

За технологічною схемою виробництва сірки, яка діяла на Роздільському комбінаті (рис. 1.2), у 1965 р. розпочато будівництво Яворівського гірничо-хімічного комбінату (нині Яворівське ДГХП "Сірка", м. Новояворівськ, Львівська обл.). Сировинною базою комбінату стало Язівське родовище природної сірки. У 1969 р. одержано першу промислову продукцію. У 1971 р. побудовано дослідно-промислову установку для добування сірки методом підземного виплавлення. На початку 1990 р. на Яворівському гірничо-

хімічному комбінаті "Сірка" сірку добували з використанням двох методів: флотаційно-автоклавого (потужність 1,3 млн т на рік) і підземного виплавлення (потужність 0,8 млн т на рік).



**Рис. 1.2.** Технологічна схема збагачення сірчаної руди, яку використовували на Роздільському ДГХП "Сірка" [13]

Сировинною базою для другої черги комбінату став Подорожненський кар'єр, будівництво якого розпочалось в 1965 р. і закінчено в 1972 р. В складі другої черги комбінату запроектовано також отримання молотих вапняків з відходів флотації сірчаної руди.

Знаючи, що запаси самородної сірки обмежені, вже в 60-ті роки увага експлуатаційників і проектувальників була спрямована на прив'язку нових

об'єктів: надалі було введено в експлуатацію установку з виробництва 80% змочувального порошку сірки, отримання молотих вапняків з відходів флотації сірчаної руди, введено в дію потужності з виробництва сірчаної кислоти, сірчаноокислотний цех №2, виробництво складних мінеральних добрив. Останнім об'єктом, збудованим уже в 90-ті роки, став цегельний завод.

До недавнього часу розроблялись три родовища Передкарпатського сірконосного басейну – Подорожненське, Язівське і Немирівське. Розробку Подорожненського родовища сірки припинено в 1997 р., Немирівського – призупинено, добувається самородна сірка лише з Язівського родовища. Видобуток сірки в басейні знизився з 1,8 (1991 р.) до 0,079 (2003 р.) млн т [14].

Сім родовищ – Загайпільське, Гримнівське, Шевченківське, Любенське, Тейсарівське, Тлумацьке, Жуківське із загальними запасами 72 247 тис. т знаходяться у резерві.

Нині сіркодобувна галузь припинила своє існування. Держбалансом нараховано 7 родовищ самородної сірки. Постановою Кабінету Міністрів України №442 в 1995 р. прийняте рішення про закриття сірчаних виробництв [15].

Виробництво самородної сірки стало збитковим не тільки в Україні, а й в усіх країнах світу. Із 2007 року видобуток самородної сірки на території Передкарпатського сірконосного басейну було припинено [16], оскільки його собівартість навіть на найбільш рентабельному Язівському родовищі становила 85\$ за тонну при світових цінах на сірку 40-60\$. Із 2000 року проводилися роботи з підтримання родовищ в екологічно безпечному стані: осушення колишніх кар'єрів, водовідведення [17, 14, 3]. Виробництво самородної сірки значно впало завдяки значному збільшенню виробництва сірки за рахунок відновлення сірчаного природного газу та нафти [18]. Загальна кількість сірки в нафті й природному газі оцінюється в  $2 \cdot 10^9$  т, тобто більше, ніж запаси природної сірки. Сірка в нафті наявна в різній формі, від елементної сірки й сірководню до сірчистої органіки, що включає понад

120 сполук. Нині понад 90% сірки отримують з десульфурації димових газів та палив [19].

Починаючи з 1995 року із експлуатації виведено Немирівське родовище самородної сірки (метод ПВС), в 2009 р. – Язівське, де видобуток корисної копалини здійснювався як методом ВГР, так і ПВС [20].

Оскільки сірчана кислота має вирішальне значення для світової економіки, її виробництво та споживання є показником промислового розвитку країни [21].

Сірку широко застосовують в різних галузях господарства. Основними споживачами її є хімічна, паперова, гумова, харчова, нафтова, військова промисловість, сільське господарство. Найбільшу кількість видобутої сірки використовують у хімічній промисловості для виробництва сірчаної кислоти, під час виробництві фосфорної, соляної та інших кислот, в гумовій промисловості, виробництві барвників, димного порошу тощо. Виробництво штучного волокна (віскози) в хімічній промисловості є іншим споживачем сірки. В сільському господарстві сірку застосовують як засіб боротьби з шкідниками, частково як добриво, для дезінфекції при лікуванні тварин [22].

У паперовому виробництві сірку використовують при обробці деревної маси (бісульфатний метод). Багато сірки використовується під час вулканізації гуми. Незначні кількості сірки високої чистоти використовують у хіміко-фармацевтичній промисловості. Сірку використовують також для виробництва ультрамарину. Текстильна, харчова, крохмальна і патокова галузі застосовують сірку або її сполуки для вибілювання і прояснення, під час консервації фруктів, в холодильній справі. Крім того, сірку застосовують і в інших галузях промисловості [13].

Промислові відходи містять значну частку відходів, що отримані в результаті фізико-хімічної переробки гірничої сировини. Забруднені хімічними реагентами та продуктами їх взаємодії з рудою, вони становлять більшу загрозу для довкілля і належать до II-III класів небезпеки. Серед них

хвосту флотації сірчаних руд, хвосту і шлами переробки полімінеральних руд та збагачення вугілля.

## **1.2. Вплив процесу виробництва мінеральних добрив на довкілля**

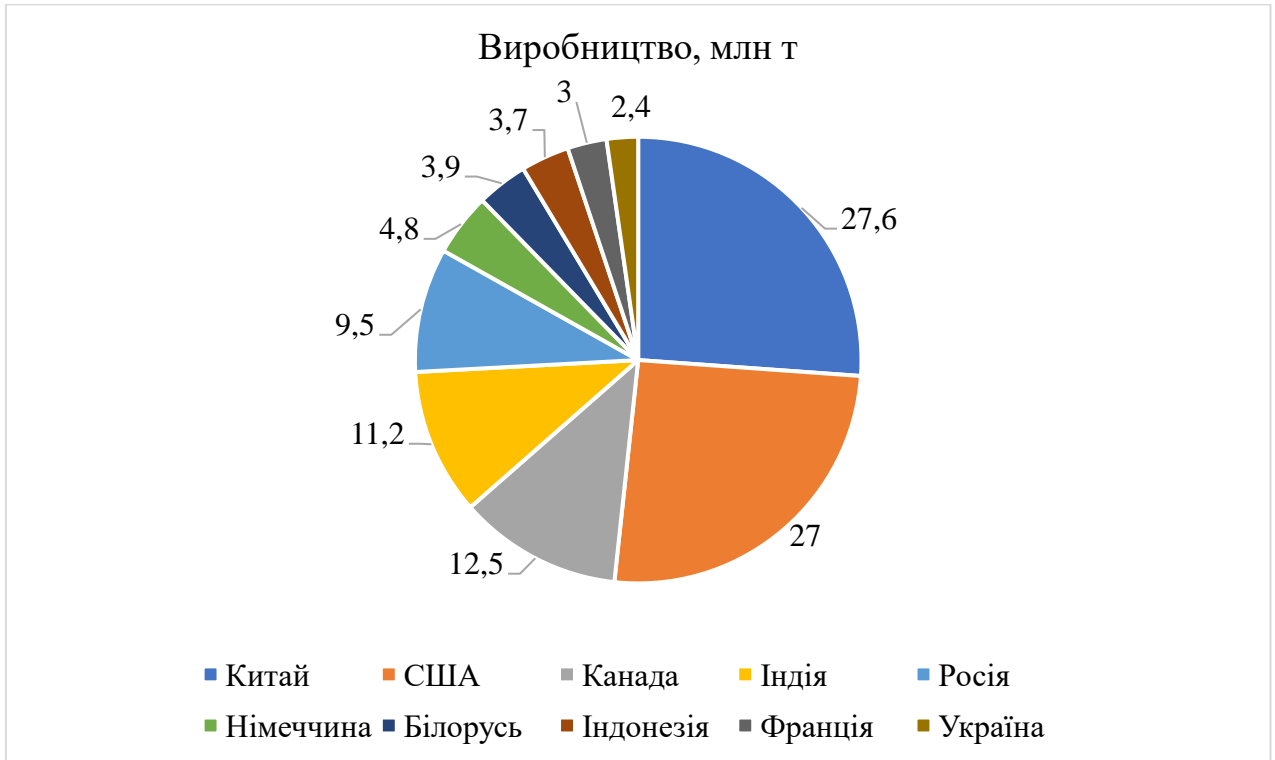
Основне застосування сірчаної кислоти – виробництво фосфорних добрив та процеси вилуговування руд.

Виробництво мінеральних добрив є найбільшою підгалуззю хімічної промисловості.

Світове виробництво мінеральних добрив в 50-70-х рр. ХХ ст. росло дуже швидко, в 80-х рр. сповільнилося, а в 90-х рр. (у тому числі і через різке зниження його рівня в країнах СНД) фактично стабілізувалося на рівні 145-150 млн т (у перерахунку на корисну речовину). Одночасно намітилися істотні зміни в розміщенні цієї галузі, пов'язані насамперед зі збільшенням числа країн-виробників в Азії, Африці та Латинській Америці і їх частки у світовій продукції. Ще в 1950-х рр. 40% мінеральних добрив вироблялося в Західній Європі (Німеччина, Франція, Великобританія, Італія, Бельгія, Нідерланди), близько 30% – у Північній Америці (США, Канада) і близько 20% – у СРСР, а до кінця 1990-х рр. на перше місце вийшла Азія (близько 40%), на другому залишилася Північна Америка (25%), на третьому опинилися країни СНД (15%) і тільки на четвертому – Західна Європа (12%). Відповідно змінився і склад першої десятки країн: у ній помітно зменшилася кількість країн Західної Європи, але збільшилася кількість азійських країн (рис. 1.3) [23].

В Україні основні підприємства, де виробляють складні мінеральні добрива – Сумхімпром, Рівнеазот, Дніпровський завод міндобрив та ін. ДП "Роздільське ГХП "Сірка" виробляло складні мінеральні добрива з 1974 по 1996 р. Сировиною були Хібінський апатитовий концентрат з формації нефелінових сієнітів (Росія) і фосфоритовий концентрат з придністровських родовищ (Україна). Після припинення видобутку сірки, за умов відсутності сировини, значної енергозатратності та неконкурентноспроможності у 1995 р.

припинив роботу завод складних мінеральних добрив. Натомість залишилися наслідки виробничої діяльності цих підприємств зокрема відвал фосфогіпсу, у якому накопичено 4,5 млн т фосфогіпсу та кислі мінералізовані води озера Кислого.



**Рис. 1.3.** Світове виробництво мінеральних добрив

Негативним впливом виробництва фосфорних добрив є збільшення об'єму багатотоннажного відходу – фосфогіпсу, що підвищує рівень техногенного навантаження на компоненти довкілля в місцях його складування, перевищуючи природні межі флуктуації хімічних елементів у них, зокрема токсичних, та формуючи умови біфуркації деградаційного характеру для екосистеми [24].

На сьогодні у світі є 52 країни, в яких відбувається складування фосфогіпсу у відвалах, і загальні об'єми вже накопиченого становлять 5,6–7,0 млрд т. Щорічний приріст його накопичення у світі досягає 120–130 млн т, а масова частка утилізації не перевищує 10%. На цей час на території України нагромаджено більше ніж 55 млн т. [24].

### **1.3. Вплив гірничо-хімічної діяльності на екзогенні геологічні процеси**

За даними Л. Г. Руденка, В. А. Барановського, О. М. Маринича та П. Г. Шищенка [25], в Україні геолого-екологічна ситуація за багатьма показниками оцінюється як кризова і продовжує погіршуватися зокрема в процесі нераціональної господарської діяльності техногенного впливу. На це також накладаються екстремальні прояви природних процесів (стихійних лих) у різні пори року: повені, посухи, зсуви, сейсмічні явища, осідання, селі, снігові лавини [26].

Серед усіх екзогенних геологічних процесів, що мають розвиток на території України, зсуви є найбільш поширеними та небезпечними [27, 28].

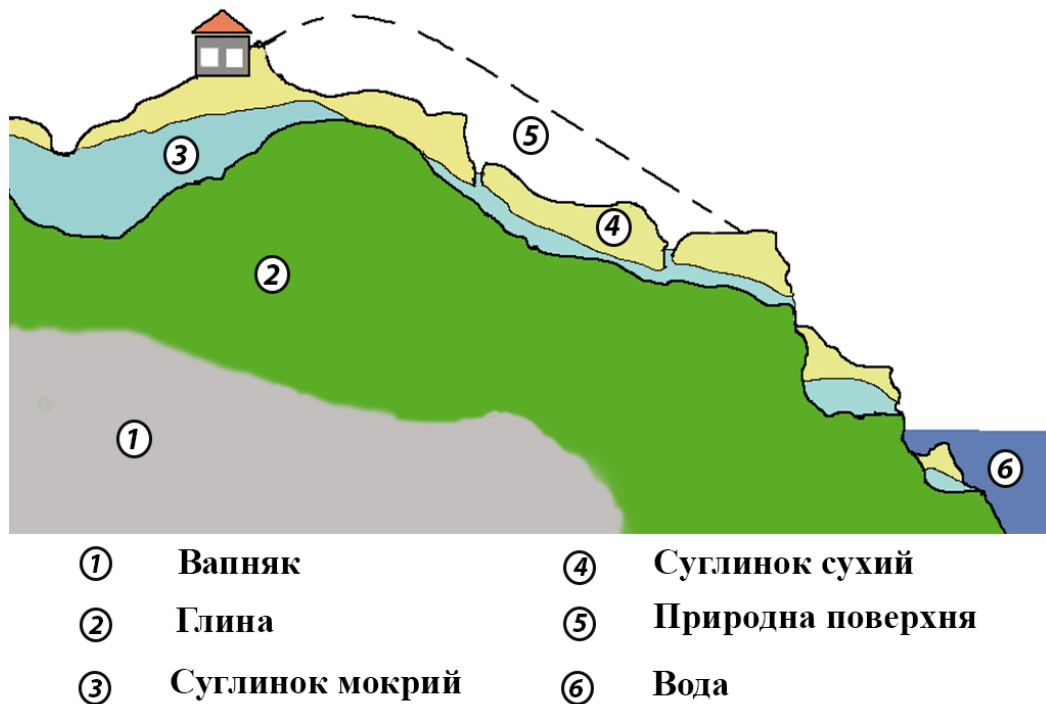
Гірничо-хімічна діяльність негативно впливає на геофізичні зміни поверхні землі. Ерозія, карст, суфозія і зсуви ґрунтів, а також забруднення ґрунтів і вод – екологічні негативні наслідки діяльності гірничо-хімічних підприємств. Усе це можна побачити в промзоні Нового Роздолу.

Зсуви нестійких схилів виникали ще в процесі експлуатації сірчаних кар'єрів. Коли водойми заповнилися, то вони повторно активувалися. Цей процес супроводжується:

- обвалюванням і зсуванням бортів;
- розпушуванням поверхневих шарів відслонень вивітрюванням;
- розмиванням хвилями;
- руйнуванням лінійною, площинною та бічною ерозією.

Особливо небезпечними є ділянки Пн і Пн-Сх бортів Роздільського кар'єру через те, що в цих зсувонебезпечних зонах розміщено житлові будинки та інші господарські об'єкти [29, 30].

У 2003 р. борт кар'єру Роздільського ДГХП "Сірка" підійшов до села Малехів. Стався зсув (рис. 1.4). Виникла небезпека руйнування будинків села Малехів, до якого наблизився борт кар'єру. За 2019 р. знову спостерігається активізація зсувів та ерозій на даній ділянці.



**Рис. 1.4.** Схема, що пояснює причину і механізм зсуву четвертинних відкладень нахиленою поверхнею неогенових глин

Ураховуючи складність прогнозу розвитку зсувів та їх непередбачуваність у часі, зсуви є потенційним чинником виникнення надзвичайних ситуації на території України. Сучасна активізація зсувів найчастіше викликана техногенними та рідше природними чинниками, і часто пов'язана з розвитком супутніх ерозійних та абразійних процесів [31]. Вони виникають на порівняно незначній площі, проте їх активізація має значні негативні наслідки через швидкоплинність їх розвитку та значні деформації та руйнування інженерно-господарських об'єктів [31].

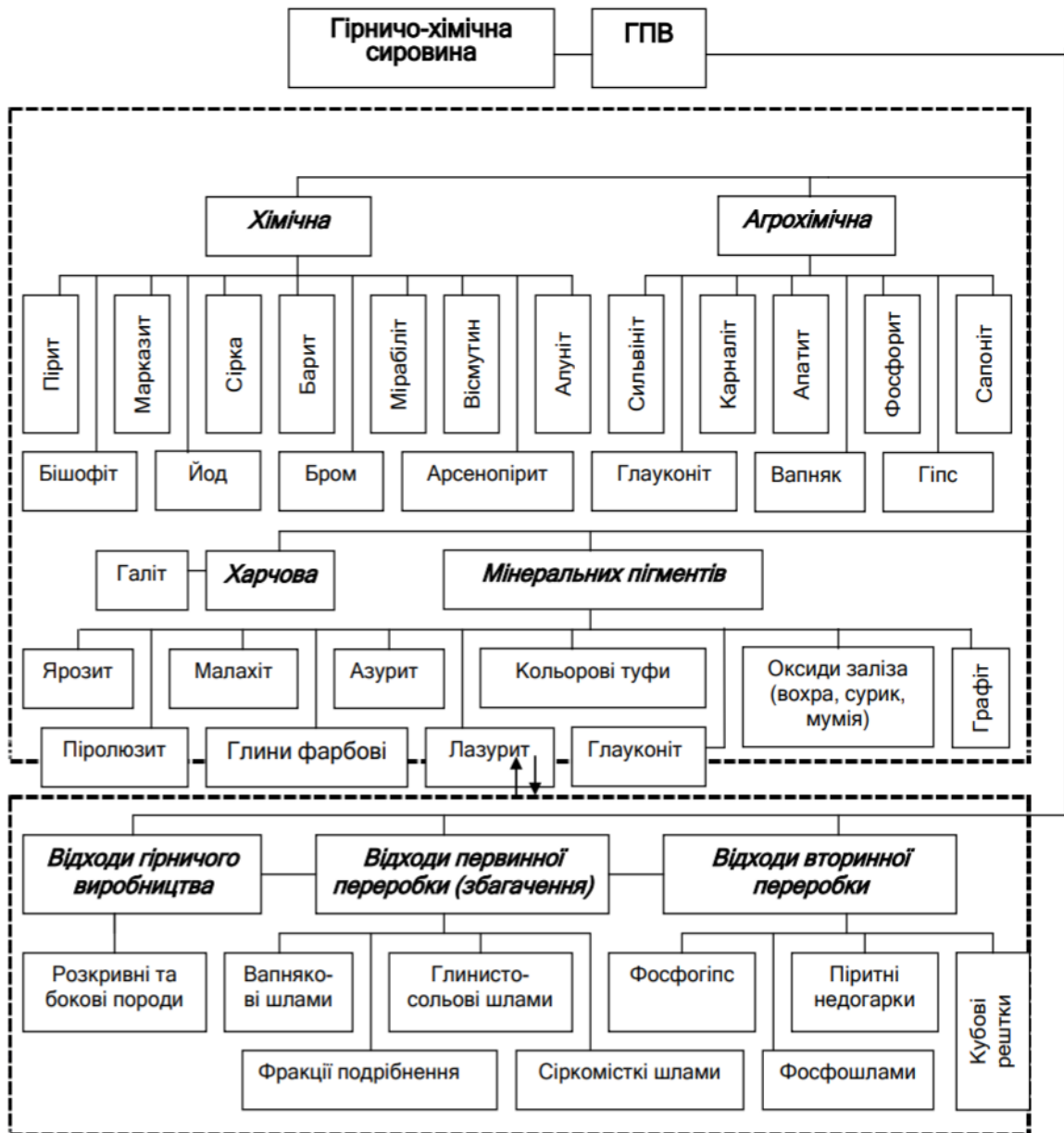
Карстові процеси поширені достатньо широко. За даними підрахунку Г. А. Максимовича, загальна світова площа гірських порід, які карстуються, займає до 50 млн км<sup>2</sup> [32], тобто приблизно третину площі суші Землі. За даними [33] територія України вражена карстом більш ніж на 40%. Розвитком відкритого карсту, який супроводжується проявами на поверхні вражено до 35% території країни [34]. У межах зони впливу Язівського сірчаного кар'єру



внаслідок пониження рівня поверхневих вод у карстонебезпечних районах відбувалася активізація сульфатного карсту.

#### **1.4. Аналіз сучасного стану досягнень з питань забезпечення екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства**

Розвиток людського суспільства та задоволення його потреб відбувається за постійного вилучення та подальшого використання природних ресурсів. Результатом цього є значне утворення та накопичення промислових відходів. Поводження з відходами є однією з найбільш важливих проблем сьогодення і посідає пріоритетні позиції в усіх розвинених країнах. В Україні, в результаті утворення великої кількості відходів, ця проблема набула особливої гостроти. У результаті промислового виробництва в районах розташування різних підприємств і місць видобутку корисних копалин, а також нерідко поблизу населених пунктів виникають вогнища індустріальної пустелі з незначною рослинністю й навіть без неї. Ґрунт тут забруднений промисловими викидами, відходами будівництва, золою теплових електростанцій, породою, вилученою із шахт і кар'єрів у результаті підземних робіт, залитою нафтопродуктами, побутовим сміттям тощо. На таких ділянках ґрунт виявляється настільки зіпсованим, що втрачає родючість. У 2000 р. маса відходів виробництва у світі перевищила 100 млрд. т; з них до 30 % складають тверді відходи промисловості, міського й сільського господарства. Головна маса відходів утворюється на підприємствах таких галузей промисловості: гірничодобувної (відвали, шлаки, так звані "хвости"); чорної й кольорової металургії (шлаки, шлами), машинобудування (стружка); хімічної (фосфогіпс, піритний недогарок, відходи органічних виробництв); лісової і деревообробної (при заготовці й обробці деревини) [35]. Зазначені відходи забруднюють і змінюють земну поверхню (рис. 1.5).



**Рис. 1.5.** Утворення гірничо-промислових відходів на гірничо-хімічних підприємствах [36]

Коли підприємство припиняє свою роботу і переходить в стадію ліквідації, то необхідний захист та відновлення навколишнього природного середовища. ЗУ "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року". У цьому ЗУ встановлено, що "Основними причинами виникнення техногенних аварій і катастроф та посилення негативного впливу внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру в Україні є: застарілість основних

фондів, зокрема природоохоронного призначення, великий обсяг транспортування, зберігання і використання небезпечних речовин, аварійний стан значної частини мереж комунального господарства, недостатня інвестиційна підтримка процесу запровадження екологічно безпечних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій, насамперед у металургійній, хімічній, нафтохімічній галузях та енергетиці; істотні зміни стану геологічного середовища, зумовлені закриттям нерентабельних гірничих підприємств, гідрогеологічного режиму водних об'єктів, небажанням суб'єктів господарювання здійснювати заходи із запобігання аваріям та катастрофам на об'єктах підвищеної небезпеки та потенційно небезпечних об'єктах тощо" [37].

"Екологічна безпека є таким стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей" [38].

Гірничо-хімічна промисловість займає одне з провідних місць в інфраструктурі економіки нашої країни. Але, разом з цим, діяльність гірничо-хімічних підприємств є визначальним чинником техногенезу, який істотно ускладнює екологічну ситуацію на локальних територіях зі зміною форм рельєфу, гідрологічного та біогеохімічного режимів територій, що спричинене нагромадженням на земній поверхні значної кількості відходів виробництва. У зв'язку з цим виникають різні екологічні проблеми, які пов'язані, перш за все, із забрудненням різних природних компонентів довкілля – ґрунтів, вод, рослинного покриву, а відтак і погіршення показників стану здоров'я місцевого населення. Одним із промислових басейнів, що зазнали інтенсивної експлуатації, є Передкарпатський сірконосний басейн. Основними об'єктами в межах сірконосного басейну, для яких виконували гірничодобувні роботи, були Роздільське та Яворівське ДГХП "Сірка" [36, 39]. Через ненормований видобуток сірки відкритим способом на місці колишніх родовищ сірки нині залишився спотворений природний ландшафт, техногенні відходи та забруднені ґрунти та водні об'єкти.

Тільки на Роздільському ДГХП "Сірка" під час ліквідації кар'єру виникла низка екологічних проблем, пов'язаних зі зміною ландшафтно-геохімічних, геодинамічних, та гідрогеологічних параметрів [40, 41, 42, 43].

Гірничопромислові комплекси, як правило, негативно впливають на довкілля [44, 45]. Причиною цього є відкриті розробки корисних копалин, причому порушується літогенна основа природних ландшафтів, а також відбувається швидка перебудова поверхні і формується техногенний неорельєф у вигляді кар'єрів, відвалів та інших суб'єктів [46]. Як наслідком нераціонального використання природних ресурсів території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка", крім проблеми присутності важких металів у ґрунтах, підприємство має проблеми із забрудненням водних об'єктів багатотоннажними відходами, стихійними лихами (зсувами) на території підприємства і прилеглих населених пунктів, порушенням ландшафту і рослинності [47, 48].

Вирішення проблеми екологічної безпеки під час ліквідації гірничо-хімічного підприємства привертало значну увагу вчених України, зокрема: О. М. Адаменка, Я. О. Адаменка, А. М. Гайдіна, М. Д. Гомелі, Я. М. Гумницького, В. М. Єрмакова, І. І. Зозулі, В. О. Дяківа, Є. А. Іванова, В. В. Карабина, І. П. Ковальчука, М. Л. Копій, О. Є. Куліковської, О. В. Луньової, С. М. Маджд, Ю. О. Малика, М. С. Мальованого, Л. М. Маркіної, Л. В. Міщенко, П. В. Новосад, А. В. Павличенка, В. І. Павлюка, Р. М. Панаса, Р. В. Петрука, І. М. Петрушки, О. В. Пластівця, Л. Я. Побережної, А. В. Пукіша, Л. Д. Пляцука, В. М. Радовенчика, Г. І. Рудька, В. В. Сабадаш, Я. М. Семчука, О. С. Терещука, В. М. Триснюка, І. О. Трунової, Є. Ю. Черниш, Л. Є. Шкіци, В. М. Шмандія, О. М. Яхненко та інші [49, 50, 51, 52, 26, 53].

У 2002 році Інститут ВАТ "Гірхімпром" на основі складеного А. М. Гайдіним науково-технічного обґрунтування розробив комплексний проект ліквідації негативних наслідків гірничих робіт і сірчаного виробництва та відновлення ландшафту. Проектом передбачено створення на території

колишнього сірчаного кар'єру зони відпочинку площею близько 600 га, з яких 136 га будуть акваторіями озер.

Нині основною діяльністю Роздільського ДГХП "Сірка" є виконання природоохоронних робіт згідно проекту: "Ліквідація сірчаних кар'єрів та відновлення екологічної рівноваги і ландшафту в зоні діяльності Роздільського ДГХП "Сірка", розробленого ВАТ "Гірхімпром", який в 2003 році пройшов комплексну експертизу Укрінвестекспертизи, отримав зведений комплексний висновок №67 від 08.07.03 р., затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України №622 від 15.10.2003 р. [54].

Відповідно до листа за №01/15 від 20.01.2016 ВАТ "Гірхімпром", який здійснює авторський нагляд за реалізацією розробленої ним ПКД (2003), основними джерелами небезпеки Роздільського ДГХП "Сірка" становлять промислові відходи, хвостосховище з дамбами, які дренають сірководневі води, борти новоутворених озер.

Програмою стабілізації рівноваги на гірничо-хімічних підприємствах області на 2015-2019 рр. передбачено асигнування робіт з природоохоронних заходів, але тільки в 2015 р. на Роздільському ДГХП "Сірка" виділено 430 тис. грн, що складає 20% від запланованих витрат. Роздільське ДГХП "Сірка" не отримало з бюджету кошти в сумі 1480,4 тис. грн за виконані роботи в 2011-2012 рр. Внаслідок цього не повністю виконано проект з ліквідації сірчаних кар'єрів.

Загальну характеристику ландшафтів гірничопромислових територій Львівщини та пропозиції проведення їх ГІС моніторингу подано в працях Є. А. Іванова [55, 36, 56]. Особливості відновлення ґрунтів та сукцесії рослинності на порушених гірничими роботами землях вивчали спеціалісти Інституту екології Карпат [57, 58]. Технологія рекультивації земель на порушених сірчаними кар'єрами територіях досліджувалася в працях Р. М. Панаса [46]. У 2011 р. опубліковано книгу А. М. Гайдіна і І. І. Зозулі [59], в якій подано основні характеристики посттехногенного ландшафту, включаючи опис промислових відходів.

Роботи вчених над вирішенням проблеми екологічної безпеки під час ліквідації гірничого підприємства мали певний успіх [60, 61]. Л. Я. Побережна приділила велику увагу безпосередньо оцінюванню екологічних ризиків в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств [62].

Забруднений ґрунт втрачає чітку структуру та характеризується зменшенням загальної його щільності. Все це призводить до зниження водопроникності ґрунту, різкого погіршення водно-повітряного режиму [58, 46]. Метод прогнозування гідрохімічної ситуації в зоні впливу відходів гірничого виробництва на основі математичного моделювання гідродинамічних процесів фільтрації рідини в пористому середовищі досліджено в роботах Л. Є. Шкіци та Г. І. Рудька [63, 64, 65, 66]. І. О. Трунова запропонувала математичну модель поширення важких металів біля відвалів фосфогіпсу [67].

Для визначення негативного впливу гірничопромислової діяльності на довкілля польські вчені систематично проводили оцінювання та моніторинг стану всіх елементів довкілля перед і під час експлуатації рудників, а також після завершення діяльності промисловості. Проведення широкого спектру моніторингу навколишнього середовища дало їм змогу уникнути несприятливих екологічних змін довкілля і змодельовати майбутні процеси довкілля у зв'язку з діяльністю гірничопромислових об'єктів [68].

Відкрита розробка Роздільського родовища сірки, складування розкритих порід, будівництво сховищ для відходів – все це докорінно змінило природні умови території.

За обсягом промислових відходів найбільшими є території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства (ДГХП) "Сірка" – більше 96 млн т, Стебницького ДГХП "Полімінерал" – 15 млн т та ДП "Львіввугілля і ЗАТ "Львівсистеменерго" – більше 250 млн т.

Унаслідок потужного техногенного впливу Роздільського ДГХП "Сірка" на прилеглі земельні площі, природні водотоки та штучні водойми, докорінно змінились гідроекологічні умови території. Коли весь промисловий комплекс

був у дії, функціонувала система зворотнього водопостачання з від'ємним балансом: адже переважання витрат води над надходженням було обумовлено використанням води для технологічних потреб, а також захороненням води під час заповнення місць акумулювання промислових відходів. Після припинення сірчаного виробництва та виробництва мінеральних добрив баланс води став позитивним, гідротехнічні споруди почали переповнюватися водою внаслідок перевищення опадів над випаровуванням. На території заводу складних мінеральних добрив піднявся рівень ґрунтових вод, вони затопили підвальні приміщення, навколо виникли озера і болота, почалась взаємодія вод із промисловими відходами у місцях їхнього зберігання.

Під впливом вищевказаних чинників ситуація у зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" набула кризового характеру. Адже, нижче за течією р. Дністер знаходяться водозабори питних вод. При цьому кількість промислових відходів після припинення сірчаного виробництва та виробництва мінеральних добрив за останні 15-20 років постійно змінювалась. На територію Роздільського ДГХП "Сірка" у 2004 р. завезено 17 тис. т сумнозвісних угорських гудронів, у цей же час для різних замовників відвантажували товарну продукцію – вапняк хвостів флотаційного збагачення, фосфогіпс, мергельно-глинисті відвальні породи.

Загальна площа землекористування Роздільського ДГХП "Сірка" становить 1816,24 га, з них:

- у Миколаївському районі – 967 га, в тому числі:
  - а) на території Крупської сільської ради – 47,0 га;
  - б) на території Березинської сільської ради – 545,0 га;
  - с) на території Роздільської селищної ради – 245,4 га;
  - д) на території Берездівецької сільської ради – 130,0 га;
- у Жидачівському районі – 30,3 га;
- у м. Новий Розділ – 818,5 га.

Відповідно до сайту Мінекології України  
<http://www.menr.gov.ua/control/control4>, підприємство належить до списку 100

найбільших забруднювачів навколишнього природного середовища України (відходи).

До 2021 року законсервовано порушені землі цього підприємства, зайняті під кар'єрним полем, зовнішніми відвалами розкривних порід та хвостосховищами, ставками відстійниками, загальною площею 1640,1 га. Впродовж періоду консервації земель (2011-2021 рр.) поставлено завдання виконати повний комплекс робіт проекту з підтримки екологічної рівноваги, рекультивацію цих земель та передачу їх місцевим радам для використання за призначенням [69].

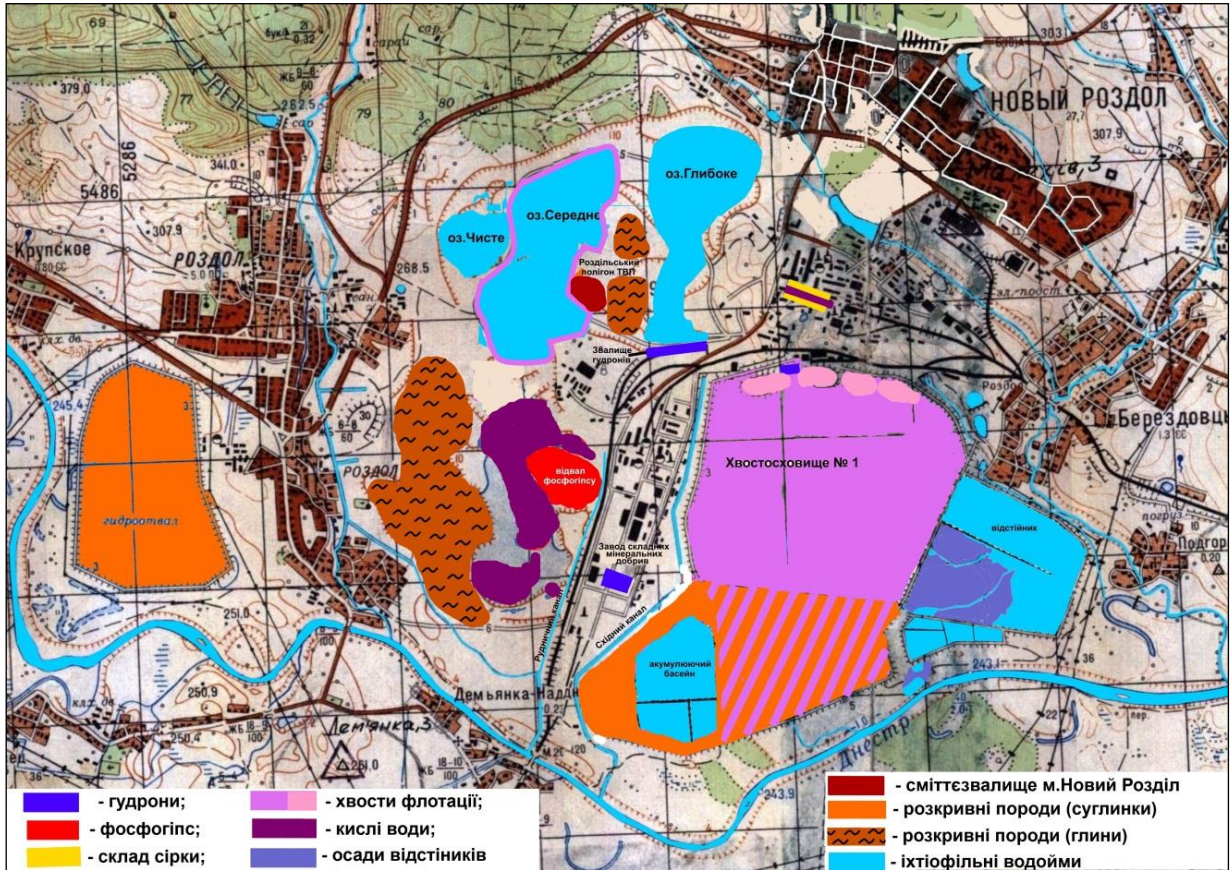
### **1.5. Екологічні проблеми гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації**

Екологічна ситуація в межах Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка" є однією з найнапруженіших в Україні. Півстолітня історія розробки сірчаного родовища, збагачення сірчанних руд, виробництва мінеральних добрив, а також складний фінансово-економічний стан підприємства в останні 20 років, супроводжувалась різноманітними негативними екологічними наслідками: створенням глибоких кар'єрів, накопиченням відвалів розкривних порід, відходів збагачення, завезенням небезпечних промислових відходів, облаштуванням відстійників оборотних вод та сміттєзвалища на березі водойми, забрудненням ґрунтів, підземних і поверхневих вод кислими стоками, атмосферного повітря сірководнем. Тут нагромаджено переважна більшість усіх твердих промислових відходів Львівщини – понад 100 млн т: хвостів збагачення сірчаної руди, фосфогіпсу, угорських гудронів, комової сірки [70].

Згідно Звіту з НДР "Проведення спеціального моніторингу в зоні впливу гірничо-хімічних підприємств Львівщини" за угодою 11/17 етап 1 "Інвентаризація промислових відходів по об'єму та хімічному складу на території Роздільського ДГХП "Сірка", виконаного ТОВ "Інститут



"Гірхімпром" у липні 2017 р., тут накопичено (рис. 1.6): комову сірку – 700 м<sup>3</sup>; хвости флотації – 85 млн т; осади оборотних вод – 1,29 млн м<sup>3</sup>; фосфогіпс – 3 млн т; гудрони (завезені з Угорщини) – 17 тис. т; побутові відходи – 560 тис. м<sup>3</sup>.



**Рис. 1.6.** Територія Роздільського ДГХП "Сірка"

Порушення екологічної рівноваги від впливу діяльності гірничо-хімічного підприємства призводить до виникнення геохімічних та геофізичних аномалій антропогенного походження [71, 72]. У зоні впливу гірничо-хімічного підприємства виникають зони підвищеної концентрації окремих хімічних елементів та їх сполук [73]. Запобігання, контроль та відновлення забруднених водних об'єктів гірничо-хімічного підприємства є складним завданням. Вплив геохімічних аномалій на довкілля має здебільшого локальний характер з радіусами поширення забруднень до 2-3 км.

Однак у деяких випадках цей вплив може бути відчутним на відстані від 5-10 до 50 км [36].

Території гірничо-хімічних підприємств, які знаходяться на стадії ліквідації, згідно із законодавством підлягають рекультивації, тобто відновленню цінних властивостей.

Проведення рекультиваційних робіт є обов'язком промислових підприємств, які ці землі знищили, причому вартість рекультивації повинна входити в собівартість готової продукції. Загальні вимоги до рекультивації ґрунтів в Україні регламентуються ГОСТ 1-7.5.3.04-83 (рис. 1.7).



**Рис. 1.7.** Види та етапи рекультивації

Процес ліквідації гірничо-хімічного підприємства має такі етапи:

– моніторинг і прогнозування небезпечних явищ, що можуть виникати після експлуатації родовищ та діяльності підприємства [74, 75];

- оцінювання екологічного ризику для населення та майна; порівняння вартості активних і пасивних методів усунення ризику;
- обґрунтування раціонального використання відновлених територій;
- розроблення необхідних заходів для попередження екологічної небезпеки і підготовки територій для господарського використання [76, 77].

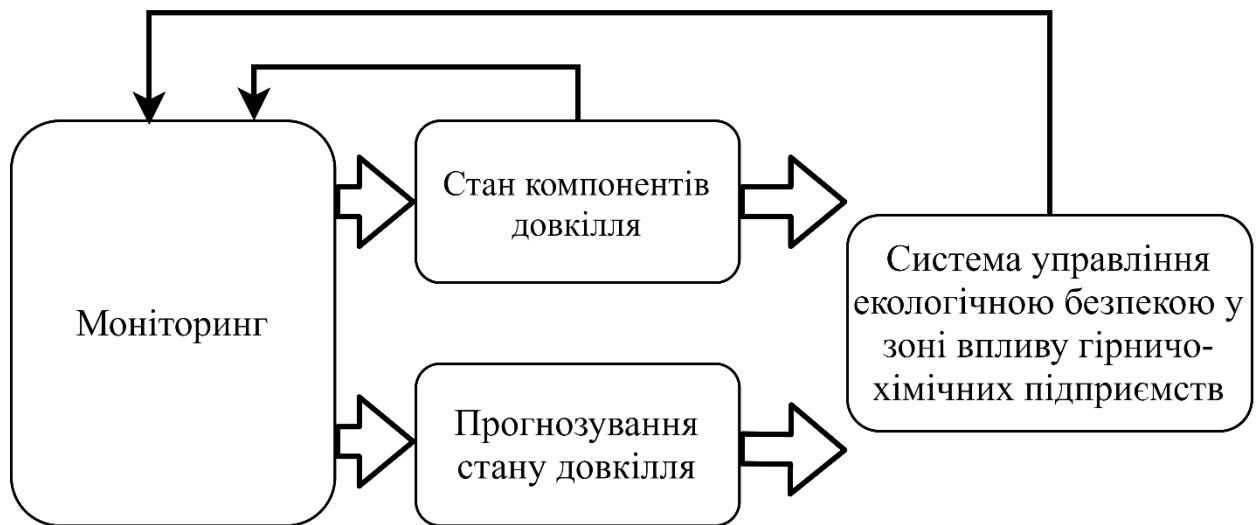
Послідовність рекультиваційних робіт: технічна рекультивація, потім біологічна. Технічна рекультивація полягає у підготовленні порушених земель до подальшого використання в господарстві. Біологічна рекультивація передбачає заходи, що сприяють покращенню фізичних та агрохімічних властивостей ґрунтів на рекультивованих землях (вапнування, піскування, шинування, внесення мінеральних, органічних добрив, золи, шлаку та ін.) [78, 79, 80, 81, 82].

Розрізняють такі види технічної рекультивації:

- сільськогосподарську (підготовлення земель до використання як сільськогосподарських угідь);
- лісгосподарську (підготовлення земель під лісопосадки);
- водогосподарську (підготовлення до створення на території гірничого комплексу водоймищ) [83];
- будівельну (підготовлення земель до промислового і цивільного будівництва);
- рекреаційну (підготовлення земель для об'єктів відпочинку);
- санітарно-гігієнічну (консервація порушених земель, якщо їхня рекультивація з іншою метою з певних причин недоцільна) [81].

Порушення гідроресурсів під час видобутку та збагачення мінеральної сировини вимагають застосування спеціальних методів їх охорони. Сьогодні розроблено низку заходів, спрямованих на попередження та мінімізацію негативного впливу відкритих гірничих робіт на гідроресурси територій, зайнятих гірничими відводами і прилеглих до них ділянок. Важливо регулярно вимірювати інтегральні параметри водного середовища та донних відкладів для недопущення забруднення довкілля чи погіршення його стану [84].

Ліквідація гірничопромислових, гірничо-хімічних підприємств повинна містити екологічний моніторинг елементів довкілля території задля уникнення помилкових рішень в процесі рекультивації. Моніторинг дозволяє спрогнозувати зміни в довкіллі, щоб природоохоронні заходи створили передумови для виникнення безпеки для мешканців районів впливу підприємств (рис. 1.8). Наприклад, існують два протилежні погляди щодо проекту закриття та вирішення геоекологічних проблем ДП "Калійний завод", на якому знаходиться Домбровський кар'єр і зв'язку з важливістю проблеми прогнозування затоплення Домбровського кар'єру. А. М. Гайдін, І. І. Зозуля, В. О. Дяків пропонують заповнити кар'єрну виїмку прісною водою і створити рекреаційну водойму [85, 86]. Я. М. Семчук та інші науковці вважають, що перетворення кар'єру на прісну водойму є недолугою ідеєю і водойма стане джерелом засолення довкілля регіонального масштабу [87, 88].



**Рис. 1.8.** Місце моніторингу довкілля в управлінні екологічною безпекою гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації

Ефективним методом охорони підземних вод і захисту прилеглих до району гірничих робіт територій від обезводнювання є облаштування гідрозахисних завіс навколо кар'єрів чи рудників. Застосовуються зокрема протифільтраційні екрани у вигляді щілин, які заповнено глинистим розчином

або з опущеними у них спеціальними плівками. Такий метод був випробуваний на Роздільському гірничо-хімічному комбінаті, який розробляв сірчані родовища. Суть протифільтраційних екранів полягає у тому, що довкола кар'єрів проходить дренажна щілина певних розмірів, яка заглиблюється у водотривкий горизонт на 2–3 м і тампонується глиною. В інших випадках за периметром кар'єрного поля бурять свердловини, у які закачують закріплювальні розчини (глина, бітум, рідке скло, цемент, синтетичні смоли тощо). За рахунок ін'єкції порід водоносного горизонту створюється протифільтраційна завіса. Спорудження таких завіс може здійснюватися з поверхні, уступів кар'єрів, підземних виробок [89].

Найбільшу групу складають класичні відходи гірничо-хімічної промисловості (хвости флотації сірчаных руд, відходи переробки полімінеральних руд – шлами, хвости, а також фосфогіпс – відходи переробки апатитового концентрату) [90].

Ці відходи є типовими для гірничо-хімічного виробництва, передбачені технологічним регламентом та складають проблеми для більшості аналогічних підприємств у світі. Щодо багатьох з них ведуться багаторічні дослідження, розроблено низку технологій їхньої утилізації. В окремих країнах вони успішно вирішені (Японія, Італія, Німеччина тощо), а в інших – вирішуються [91].

Основними кроками на шляху до вирішення проблеми екологічної реабілітації території є перероблення багатотонажних відходів і забезпечення системи моніторингу для передбачення екологічних змін [92, 93]. Немала кількість учених розробила наукові засади екологічно безпечної технології утилізації твердих відходів (фосфогіпс, сірка, гудрони) [94].

Фосфогіпс належить до IV класу небезпечності речовин (малонебезпечні). Але у великих об'ємах він становить значну загрозу для довкілля [95, 96, 97].

На території Роздільського ДГХП "Сірка" знаходиться відвал фосфогіпсу заводу складних мінеральних добрив, який був збудований на

внутрішніх відвалах центрального сірчаного кар'єру. Сировиною для виробництва фосфорної частини добрив був апатитовий концентрат, під час перероблення якого одержувались розчинні фосфати і тверді відходи гіпсу з домішками фосфорної кислоти, кремнійфторводневої кислоти та ін. Вказані відходи називають фосфогіпсом. Відповідно до довідки Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 25.01.2016 року №05-9 станом на 01.01.2016 року на балансі Роздільського ДГХП "Сірка" перебуває 3045418 т фосфогіпсів. Площа складування 17 га та висотою до 20 м. Під час відкритого зберігання фосфогіпсу, він промивається атмосферними опадами. Дренажні води складу фосфогіпсу збиралися в водозбірний басейн, перекачувалися на станцію нейтралізації. Нейтралізація велася вапняковим молоком. Воду освітлювали і передавали в зворотну систему технічного водопостачання. Систему повністю зруйновано, дренажні води заповнили простір навколо відвалу фосфогіпсу, залишкову ємність Центрального кар'єру та частково площу гідровідвалу №4. Для ліквідації негативного впливу відвалу фосфогіпсу проектом: "Ліквідація сірчанних кар'єрів та відновлення екологічної рівноваги і ландшафту в зоні діяльності Роздільського ДГХП "Сірка", передбачено нейтралізацію дренажних кислих вод відвалу фосфогіпсу та гідроізоляцію поверхні відвалу фосфогіпсу від опадів.

Частину фосфогіпсу у кількості 783280 т передано ПАТ "Завод залізобетонних конструкцій" (м. Київ, вул. Будіндустрії, 5), та відповідно до договору №9/1 "Відповідального збереження" від 03.01.2012 року та додаткової угоди до договору №9/1 від 03.01.2015 року передано на зберігання Роздільське ДГХП "Сірка". Згідно з розпорядженням на передачу товару №1 від 25.01.2016 року, ПАТ "Завод залізобетонних конструкцій" надає розпорядження Роздільське ДГХП "Сірка" передати їм товар (фосфогіпс) через посередника ТзОВ "Галгіпс" (ЄДРПОУ 33909902).

Нині питання утилізації фосфогіпсу є однією із важливих науково-технічних проблем [98, 99, 100, 101]. Рішення цієї проблеми в багатьох випадках є обмежувальним чинником під час будівництва нових підприємств

і розширення тих, що існують [102, 103]. І в нашій країні, і за кордоном інтенсивно ведуться дослідження з вишукування економічних та екологічно чистих шляхів утилізації фосфогіпсу та його використання [104, 105, 106, 107]. Переробка фосфогіпсу є не тільки інженерною або науковою проблемою [108, 109, 110], але і економічною, і політичною проблемою [111, 112]. Перспективним і актуальним напрямком досліджень для України є розроблення заходів захисту ґрунтів та води від негативного впливу токсичних сполук, що містяться у відвалах [64, 113, 114].

Проблемі використання вторинних ресурсів, в тому числі й фосфогіпсу, надають велику увагу в Німеччині, США, Іспанії, Франції, Японії, Англії, Австрії, Бельгії, Чехії [115, 116]. Провідними фірмами побудовано підприємства з переробки фосфогіпсу в Югославії, Фінляндії, Норвегії, Індії, Алжирі, Мавританії, Японії, які щорічно переробляють десятки млн т [117, 118]. Існують різні технологічні лінії з переробки фосфогіпсу і на території СНД, які значно відрізняються технологічним оформленням.

Основні напрямки використання фосфогіпсу для вторинного використання: у виробництві будівельних матеріалів; у сільському господарстві; в автодорожньому будівництві; переробка фосфогіпсу на сульфатну кислоту; добування різних речовин з фосфогіпсу, зокрема рідкісноземельних елементів [119].

Перспективним напрямом утилізації фосфогіпсових відвалів є його комплексне перероблення, яке, в першу чергу, містить витяг рідкоземельних елементів, стронцію і т. д. До реалізації може бути запропоновано будь-яку технологію комплексного перероблення фосфогіпсу, за допомогою якої можна отримати з нього такі продукти: оксиди і солі рідкоземельних елементів, сульфат натрію, карбонат кальцію, вуглекислий стронцій.

Через неузгодженість і недосконалість окремих норм законодавчих та підзаконних актів, які регулюють питання менеджменту небезпечних відходів, є випадки завезення на території підприємств нашої держави небезпечних

відходів, є випадки завезення на території підприємств нашої держави небезпечних відходів.

Одним із випадків є завезення гудронів на територію Роздільського ДГХП "Сірка". На проммайданчику Роздільського ДГХП "Сірка" (рис. 1.9) міститься 17,195 тис. т модифікатора типу "МГ", виготовленого з нейтралізованих гудронних залишків та котлових залишків ангідриду малеїнової кислоти (рис. 1.10) (при незадовільному зберіганні модифікатора на даному майданчику є пряма загроза попадання забруднених дощових стоків в оз. Глибоке, звідки з'єднувальним каналом можливе попадання в р. Дністер з усіма негативними наслідками, включаючи транскордонні забруднення). За документами у 2001–2003 роках дві українські фірми – ДП МВС України "Спецсервіс" та ТзОВ "НВП Осма ойл" – імпортували з Угорщини понад 23 тис. т гудронів та залишків котлів малеїнового ангідриду.



**Рис. 1.9.** Місце зберігання гудронів на території Роздільського ДГХП "Сірка"



Умови зберігання цих речовин не відповідають нормам екологічної безпеки, наявний негативний вплив їх небезпечних складників на земельні та водні природні ресурси в місцях їх зберігання, що систематично фіксується Держекоінспекцією та санітарно-епідеміологічною станцією.



**Рис. 1.10.** Модифікатор типу "МГ", виготовлений з гудронних залишків та котлових залишків ангідриду малеїнової кислоти, який знаходиться на території Роздільського ДГХП "Сірка"

Кислі гудрони – небезпечні відходи, що утворюються під час очищення нафтопродуктів концентрованою сірчаною кислотою. Кислі гудрони належать до багатотоннажних відходів нафтової промисловості, утилізація яких є доволі складною науковою і технологічною проблемою. Вони утворюються під час очищення олив (трансформаторних, конденсаторних, медичних, парфумерних тощо) концентрованою сірчаною кислотою. У разі такого очищення

видаляються вуглеводні, здатні взаємодіяти з сірчаною кислотою, смолисті компоненти, а також азотовмісні і сірковмісні сполуки. Суміш цих сполук разом із непрореагованою частиною сірчаної кислоти і є кислим гудроном.

З 2005 р. розслідувалася кримінальна справа за фактом завезення в Україну небезпечних відходів. У 2012 р. справу закрито за відсутністю складу злочину.

Відповідно до Звіту про результати досліджень відходів, що були завезені з Угорщини на територію Львівської області, виконаного Інститутом екогігієни і токсикології імені Л. І. Медведя МОЗ України (2005), у результаті дослідження зразка з території Роздільського ДГХП "Сірка" відібраного відділом аналітичного контролю Держуправління екології та природних ресурсів у Львівській області (проба 1 від 25.10.2005 р.) встановлено перевищення ГДК (мг/кг) для ґрунтів – свинцю (в 1,88 разів), міді (в 17,42 разів), цинку (в 4,12 разів), кадмію (в 10,78 разів), хрому (в 1,35 разів), нікелю (в 2,99 разів), марганцю (в 1,41 разів).

Рівні міграції формальдегіду і фенолу у водні об'єкти значно перевищують ГДК (СанПіН 4630-88) – фенолів у 1000 разів, формальдегіду – у 20 разів.

Крім цього, вміст ПАВ (поліциклічних ароматичних вуглеводнів) визначено у об'єднаній пробі з 5 зразків (у т. ч. проба №1), яка виявила наявність нафталіну (450 мкг/кг), аценафтену (1620 мкг/кг), флуорену (600 мкг/кг), антрацену (1500 мкг/кг), фенатрену (20 мкг/кг), пірену (260 мкг/кг), флуорантену (420 мкг/кг), банз(а)антрацену (20 мкг/кг), хризену (260 мкг/кг), бенз(в)флуорантену (7,4 мкг/кг), бенз(а)пірену (0,8 мкг/кг). Визначено вміст діоксинів (сумарний вміст поліхлорованих дібензо-п-діоксинів (ПХДД) і поліхлорованих дібензофуранів( ПХДФ) у пробі №1 (Роздільське ДГХП "Сірка"), який становить 554 нг/кг.

Вищезазначені речовини можуть легко вимиватись дощовою водою, просочуватись у глибинні шари ґрунту, досягати водоносних горизонтів [120].

Зберігання цих відходів на території України є грубим порушенням вимог Базельської конвенції і пункту 16 Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13 липня 2000 р. №1120, якими заборонено ввезення в Україну небезпечних відходів з метою їх зберігання чи захоронення. У зв'язку із незаконним ввезенням цих небезпечних відходів слідчим управлінням Головного управління Міністерства внутрішніх справ України у Львівській області порушено дві кримінальні справи за фактами ввезення ДП "Спецсервіс" та ТзОВ "ОСМА-Ойл" на територію області з метою подальшого збуту небезпечних відходів. Разом з тим, розслідування справ не завершено, а гудрони та модифікатори типу "МГ", які виготовлено з нейтралізованих гудронних залишків та котлових залишків ангідриду малеїнової кислоти як речові докази незадовільно зберігаються в місцях їх розміщення. Гудрони, відходи нафтопереробки мають значну енергетичну здатність та за певних дозувань їх можна використати в цементній промисловості спільно з вапняковими відходами, що дає змогу одночасно проводити їх нейтралізацію [117].

Нині на території Львівської області екологічно безпечні технології переробки зазначених відходів та модифікаторів не опрацьовані.

Гудрони лежать не під накриттям і зберігають без належних умов, не проводиться відкачування неочищених стічних вод із майданчика в акумулювальну ємність, а стічні забруднені гудронами води попадають в озеро Глибоке, яке є складовою частиною рекреаційної зони басейну річки Дністер. Сміттєвозні автомобілі, які вивозять сміття на тимчасове сміттєзвалище, їдуть по дорозі, де розливаються стічні води з гудронами, забруднюють місто, що негативно впливає на екологічний стан та здоров'я людей [121].

Якщо не врегулювати на законодавчому рівні проблеми порушення вимог Базельської конвенції – ця проблема так і залишиться екологічною катастрофою.

Згідно з Державним реєстром потенційно небезпечних об'єктів України Роздільське державне гірничо-хімічне підприємство "Сірка" належить до об'єктів моніторингу ПНО [122].

### **1.6. Вибір і обґрунтування напрямів досліджень**

У гірничодобувній промисловості рекультивация території є комплексною системою заходів для зменшення або усунення прямої і непрямой дії гірничої діяльності на довкілля і не менш важливим її етапом є моніторинг. Вагоме значення для вирішення поставлених проблем має моніторинг території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації та прилеглих територій, оптимізація його структури і функціональних зв'язків. Екологічний моніторинг території Роздільського ДГХП "Сірка" передбачає міждисциплінарні дослідження за станом ґрунтів та водних об'єктів, гудронних залишків, відвалів фосфогіпсу та оцінювання геофізичних процесів, зокрема, зсувів на довкілля.

Аналізуючи літературні джерела та наукові праці у сфері підвищення екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації, можна дійти висновку, що постає необхідність у оцінюванні та підвищенні рівня екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації. Для цього необхідно:

- дослідити сучасний екологічний стан гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації;
- розробити методи підвищення рівня екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації;
- експериментально визначити рівень забруднення ґрунтів Роздільським державним гірничо-хімічним підприємством "Сірка";

– оцінити стан поверхневих та підземних вод на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка";

– розробити методи побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

Об'єкт дослідження – процеси впливу гірничо-хімічного підприємства на довкілля.

Предмет дослідження – оцінювання стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства в післяліквідаційний період методами екологічного моніторингу.

### **1.7. Висновки до розділу 1**

1. Впродовж тривалого часу Україна була одним із світових лідерів з видобутку самородної сірки. При цьому основний обсяг сірки видобувався відкритим способом. Кар'єрний видобуток сірки призвів до незворотних екологічних наслідків, а перехід на прогресивніший метод підземного виплавляння сірки – до різкого скорочення видобутку сірки (70-80 тис. т).

2. Хоч загальні обсяги видобутку мінерально-сировинних ресурсів на Львівщині впродовж останніх років відчутно знизилися, чимало гірничодобувних підприємств закрито чи законсервовано, проте екологічна ситуація в межах гірничопромислових територій не зазнала суттєвого поліпшення. Це пов'язано з недостатньою увагою до питань кадастру, моніторингу і рекультивації територій, порушених гірничою діяльністю. У результаті підвищуються рівні забруднення довкілля, активізуються небезпечні природно-антропогенні процеси, такі як просідання, підтоплення, карст, лінійна ерозія тощо, що у підсумку зумовлює погіршення ландшафтно-екологічної ситуації.

3. Встановлено, що екологічна ситуація в межах Роздільського ДГХП "Сірка" є однією з найбільш напружених в Україні. Екологічний баланс території порушено в зв'язку з тим, що ліквідацію негативних технічних

проявів діяльності підприємства тривалий час визнавали нерентабельною. Доведено, що територія підприємства є потенційно небезпечним об'єктом. Незважаючи на припинення гірничих робіт, виробництва сірки та мінеральних добрив, екологічна ситуація на території діяльності колишнього Роздільського гірничо-хімічного комплексу залишається незадовільною. Джерелами забруднення довкілля є відходи виробництва, залишки продукції, побутові відходи.

4. Обґрунтовано необхідність оцінювання та покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації. Встановлено, що екологічний моніторинг дасть змогу покращити стан екологічної безпеки території підприємства і прилеглих до нього населених пунктів, дозволить вчасно попередити негативні зміни на території підприємства чи навколишніх територій після завершення гірничих робіт.

Результати розділу 1 опубліковано у наукових працях [2], [40], [41], [42], [43], [47], [83], [90], [121].

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ

#### 2.1. Екологічні проблеми під час ліквідації та рекультивації гірничо-хімічного підприємства

Гірничий кодекс України зобов'язує гірничо-хімічні та інші підприємства, після припинення діяльності, привести порушені землі у безпечний для людей, майна і придатний для використання стан [123].

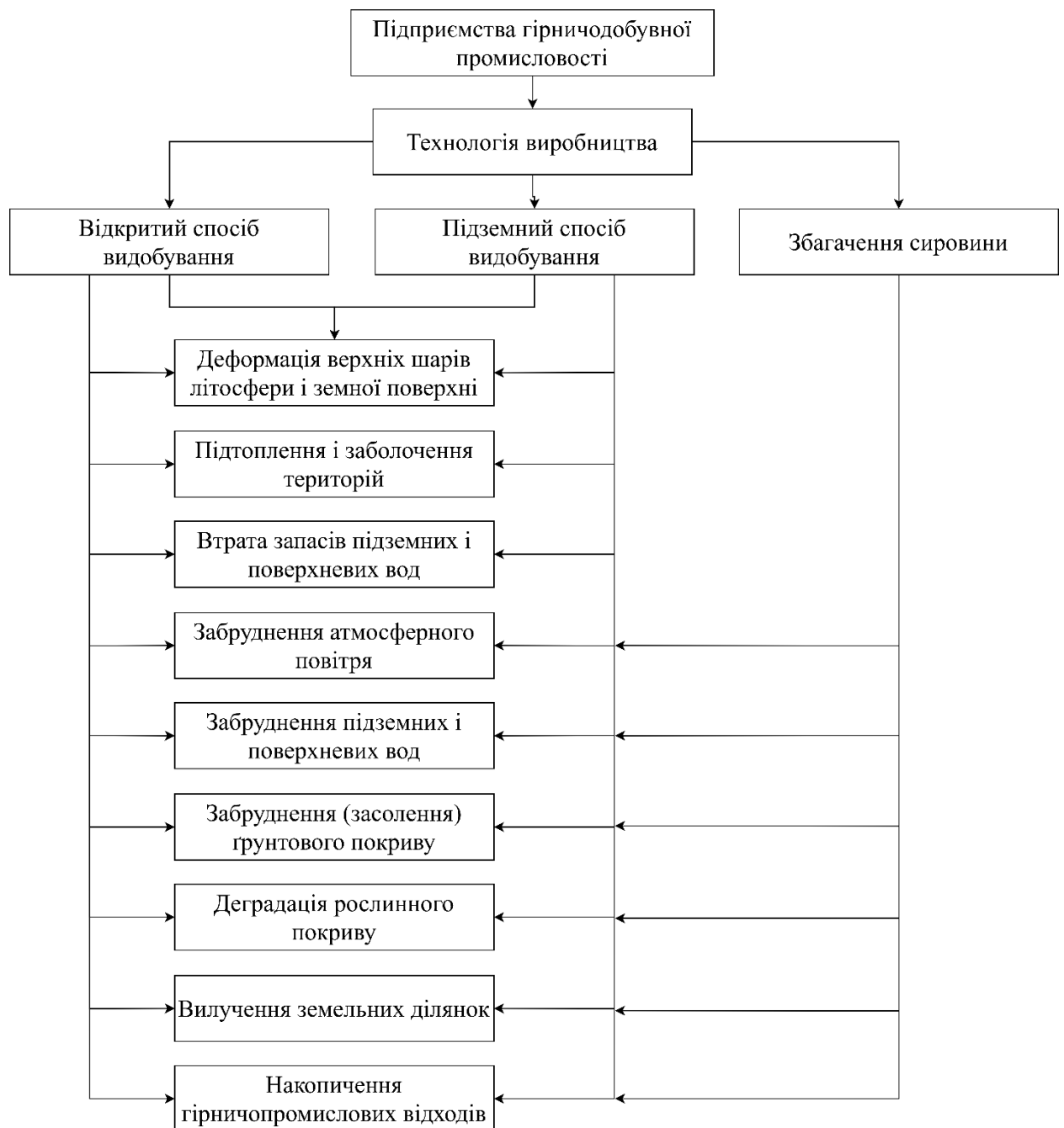
Діяльність гірничо-хімічного підприємства призводить до активізації небезпечних природно-антропогенних процесів, що спричиняють порушення земель і деградацію ландшафтів, забруднення атмосфери і водного середовища, збіднення рослинного та тваринного світу, загрожують життю і здоров'ю людей. Ці впливи можуть здійснюватися на всіх стадіях гірничих робіт, від дослідження запасів до закриття підприємства.

На рис. 2.1 зображено екологічні проблеми, що виникають на території гірничодобувного підприємства, які є результатом сумісної дії багатьох природних та антропогенних чинників.

Гірничопромислові ландшафти, що сформувалися в Україні, відрізняються складною внутрішньою структурою. Їх особливості залежать від способу розроблення, технології видобутку сировини, рельєфу, гідрологічного режиму і ґрунтів відпрацьованих ділянок, характеру навколишніх ландшафтів. Здебільшого, – це азональні ландшафтні комплекси, у структурі яких виділяють 3 типи: кар'єрно-відвальний, торфово-болотних пустищ і териконно-псевдокарстовий [124].

Процес функціонування екосистеми «гірничо-хімічне підприємство – довкілля», можна умовно розділити на такі стадії: проектування та реалізація проекту, оптимальне функціонування гірничо-хімічного підприємства,

припинення гірничо-хімічної діяльності та ліквідація підприємства, післяліквідаційний період [125].



**Рис. 2.1.** Екологічні проблеми, що виникають на території гірничодобувного підприємства [36]

Існують три можливі варіанти ліквідації гірничо-хімічного підприємства:



1. Планова ліквідація підприємства, згідно з планом розвитку підприємства у випадку завершення запасів родовища, що експлуатується.

2. Аварійна ліквідація, яка виникає в результаті раптових рішень про ліквідацію пов'язаних із катастрофою, економічним занепадом або іншими причинами.

3. Тимчасове закриття шахт, кар'єрів пов'язане з економічними, технологічними проблемами, що не дозволяють продовжувати видобуток мінеральної сировини і провадити діяльність. При проведенні часткових ліквідаційних робіт потрібно враховувати можливість повторної експлуатації родовища [126].

Ліквідація українських шахт та кар'єрів на гірничо-хімічних підприємствах, зазвичай, є аварійною. Програма ліквідації часто створюється після прийняття рішення про припинення діяльності. Наслідком наявного підходу до вирішення питання ліквідації підприємства є проблеми належної організації рекультиваційних робіт та небезпека розвитку негативних антропогенних змін.

У процесі ліквідації гірничо-хімічного підприємства необхідно здійснити рекультивацію постмайнінгових ландшафтів – реалізувати складний комплекс інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, біотичних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на повернення порушених промисловістю територій у різні види природокористування: сільськогосподарське, лісогосподарське, рекреаційне тощо. Розроблення покладів корисних копалин не може розпочинатися, доки не буде розроблено проект рекультивації порушених ландшафтних систем [127].

До сьогодні рекультивацію вважали єдиним ефективним заходом вирішення питань раціонального використання природних ресурсів й охорони природи [128, 129].

Рекультивациі підлягають усі гірничопромислові території та об'єкти, на яких зазнають змін товща відкладів, рельєф, ґрунтовий і рослинний покрив [130, 4, 76, 63].

Розробка корисних копалин характеризується такими видами негативних змін у довкіллі:

- газопилове забруднення атмосфери під час вибухових видобувних робіт у кар'єрах, потрапляння у повітря вихлопних газів технологічних і транспортних машин, утворення мінерального пилу під час вибухових робіт, подрібнення, завантаження і транспортування породних мас;

- зміни у водному режимі підземних вод (перших від поверхні горизонтів) і поверхневих вод у зв'язку з проведенням осушення і водовідливу з гірничих виробок;

- забруднення ґрунтових і поверхневих вод кар'єрними водами, утворення фільтрату під час водної ерозії відвалів;

- порушення ґрунтово-рослинного покриву і використання земельних ділянок під гірничі виробки та відвали.

Створення інформаційно-аналітичної системи моніторингу території є першим і основним етапом процесу ліквідації гірничо-хімічного підприємства. Необхідною організаційно-методичною та матеріально-технічною основою керування процесами формування та розвитку природно-техногенної системи гірничо-хімічного підприємства є створення інформаційно-аналітичної системи моніторингу, що складає комплекс направлених заходів по накопиченню та ефективному використанню різнохарактерної інформації [131, 132, 133].

Наявні підходи до рекультивації постмайнінгових ландшафтів нерідко є застарілими. Результати різних досліджень та аналіз досвіду реалізованих проектів дають змогу стверджувати, що за умов рекультивації і фітомеліорації постмайнінгових геосистем у районах розроблення різних видів корисних копалин (кам'яного вугілля, нафти, сірки, солей тощо) з метою їх подальшого сільськогосподарського використання ніколи не окупляться. Вирівнювання

і терасування схилів із нанесенням родючого шару ґрунтосумішей є дорогим і малоефективним оптимізаційним заходом. Для промислового лісівництва також необхідно вирівнювання поверхні та забезпечення прохідності місцевості і належного мікроклімату, що аналогічно потребує значних витрат. Крім того, у районі гірничого підприємства можлива проблема наявності промислових відходів, а також забруднювальних речовин в елементах довкілля, що теж потребує вирішення.

Проект ліквідації повинен містити екологічний аналіз діяльності підприємства, екологічний прогноз, систему моніторингу території в процесі ліквідації та в післяліквідаційний період і завершується формуванням інформаційно-аналітичної системи екологічного стану території впливу підприємства із забезпеченням вільного доступу до інформації.

Основні загрози, які слід розглядати на стадії завершення експлуатації родовища, – це хімічне забруднення ґрунтів, вод та порушення екологічної стійкості території. Спроби систематизації та визначення вибраних проблем вирішуються у процесі моніторингу та прогнозування негативних впливів гірничодобувної діяльності. Систематична реєстрація показників та змін окремих складових довкілля є діагностування та прогнозування наявних умов, тобто моніторинг. Моніторинг повинен виконуватися не тільки на першому етапі, але й впродовж ліквідації та рекультивації підприємства. Об'єктом дослідження може бути ціла територія гірничопромислового комплексу або її частина, яка активно піддається впливу гірничої діяльності або результатів цієї діяльності.

## **2.2. Джерела екологічної небезпеки**

Екологічна безпека залежить від оцінювання якості довкілля, оскільки це допоможе прийняти певні рішення для прогнозування змін довкілля та покращення його стану.

Для того, щоб оцінити якість довкілля, першочергово необхідно визначити джерела небезпеки.

Одним з основних джерел екологічної небезпеки є промислові відходи, утворені в результаті діяльності підприємства, які зазвичай у великих обсягах зберігаються на підприємстві. У зв'язку з цим, важливим є вирішення проблеми реабілітації значних за площею територій, які знаходяться в зоні впливу цих підприємств, а також впровадження оптимізаційної стратегії ліквідації цих підприємств.

На Роздільському ДГХП "Сірка" виробництво добрив призвело до появи промислових побічних продуктів під назвою фосфогіпс. З хімічної точки зору він є побічним продуктом взаємодії сірчаної кислоти з апатитом. На Новороздільському заводі складних міңдобрив сировиною були Хібінський апатитовий концентрат з формації нефелінових сієнітів (Росія) та фосфоритовий концентрат з придністровських родовищ (Україна). Близько 5 т фосфогіпсу генеруються на 1 т продукції фосфорної кислоти, і в усьому світі обсяги фосфогіпсу оцінюють приблизно 100-280 млн т на рік. Величезні купи фосфогіпсу, що містить небезпечні хімічні речовини, виявлено в безпосередній близькості від сіл і джерел питної води в провінції Сичуань (Китай), що призвело до вимог урядового розслідування ситуації, згідно зі звітом, опублікованим екологічною організацією Greenpeace [112]. Фосфогіпс містить в основному гіпс, і високий рівень домішок, зокрема, фосфати, фториди і сульфати, природні радіонуклідів, важкі метали та інші мікроелементи. Все негативно впливає на довкілля і тому є багато обмежень щодо застосування фосфогіпсу [134, 135, 66]. В Україні запаси фосфогіпсу сягають 80 млн т.

Проблема з фосфогіпсом полягає: у великій кількості його накопичення (сотні тисяч тонн), що займає значні площі землі; неоднорідний хімічний та структурний склад, що ускладнює його утилізацію та переробку; присутність шкідливих речовин, важких металів, радіонуклідів, які можуть негативно впливати на довкілля [71].

Незважаючи на гідроізоляцію днищ відвалів, тривалий термін зберігання твердих відходів виробництва, зокрема фосфогіпсу, призводить до проникнення токсичних речовин у ґрунт і їх фільтрації, формуючи з часом ареали забруднень. Дощі розчиняють гіпс і вимивають з нього кислоти і токсичні сполуки. Отже, фосфогіпс є одним із джерел небезпеки на Роздільському ДГХП "Сірка".

Комова сірка є готовим продуктом збагачення сірчаної руди для відправки споживачам.

Комову сірку заскладовано під відкритим небом на складі із бетонною основою Новороздільського сірчаного гірничо-збагачувального комбінату на майданчику розміром 90 м на 380 м (рис. 2.2, рис. 2.3).



**Рис. 2.2.** Розташування складу комової сірки на космознімку



**Рис. 2.3.** Загальний вигляд складу комової сірки у серпні 2017 р.

Площа складу комової сірки становить 3 га, складається із чотирьох карт, розділених протипожежним ровом, залізничним насипом та вертикальними бетонними перегородками. В межах карти 1 об'єм сірки становить  $180 \text{ м}^3$ , на 2 карті –  $250 \text{ м}^3$ , на 3 карті –  $150 \text{ м}^3$ , на 4 карті –  $120 \text{ м}^3$ . Загальний об'єм сірки на складі становить  $700 \text{ м}^3$ .

Під час окислення елементарної сірки утворюється сірчана кислота та кислі води, які накопичуються у центральному каналі та у східній частині у вигляді розливів (рис. 2.4).

У процесі збагачення сірчану руду, розмелювали та флотаційним методом вилучали сірку, а на виході отримували хвости флотаційного збагачення.

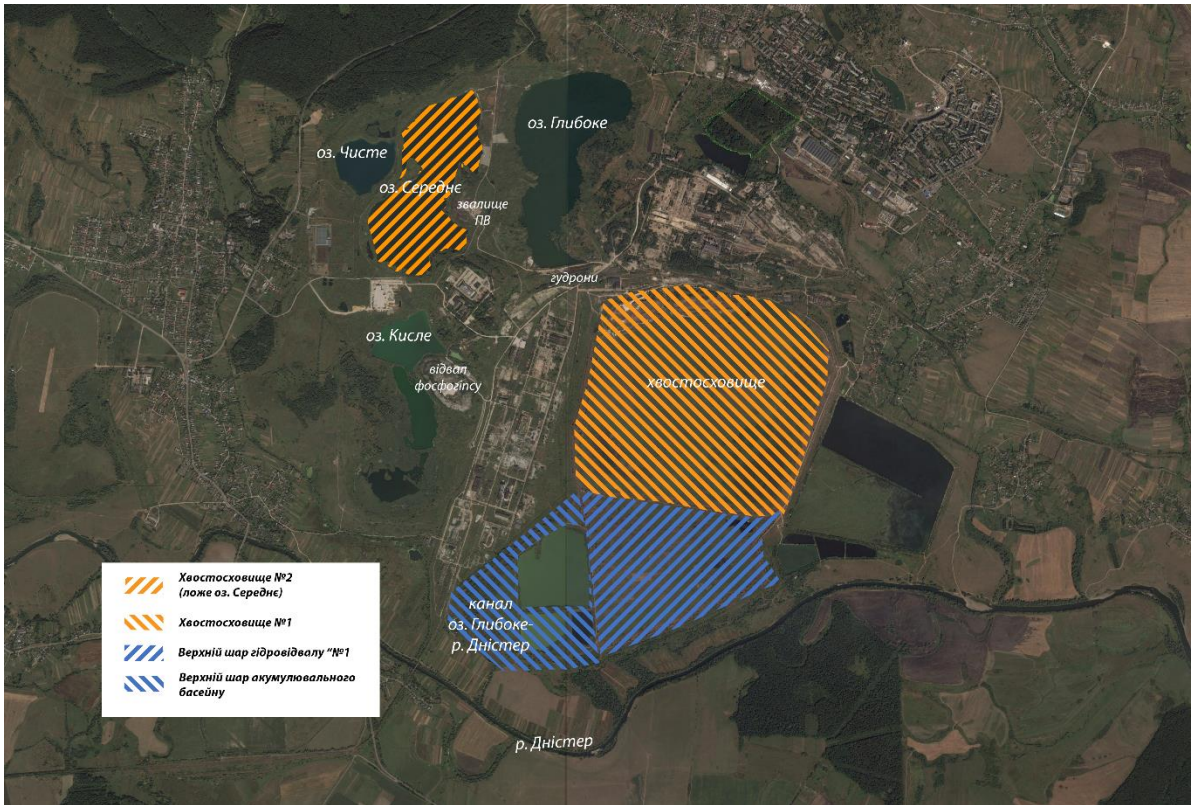


**Рис. 2.4.** Розливи кислої води на складі комової сірки у серпні 2017 р.

Хвости флотації закладовані під відкритим небом на хвостосховищах № 1 та № 2 (ложе озера Середнє), у верхній частині гідровідвалу №1 та акумулювального басейну (рис. 2.5).

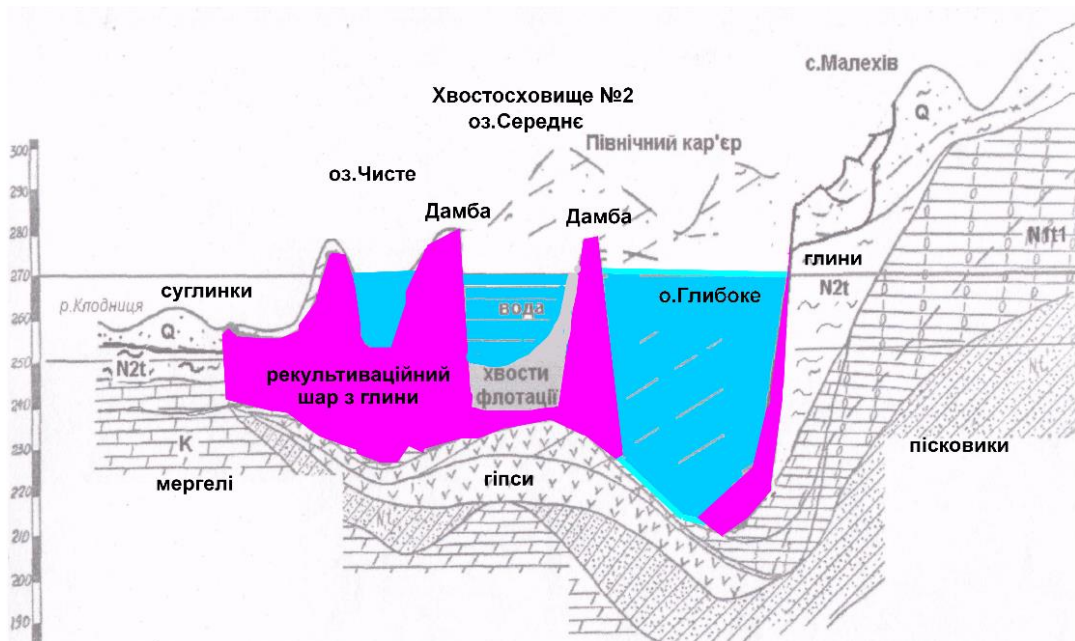
Унаслідок довготривалого видобутку сірки на території Роздільського ДГХП "Сірка" виникли непрогнозовані техногенні явища, пов'язані із змінами гідрологічної ситуації, що загрожує екологічною катастрофою в області. Сірчаний кар'єр умовно поділяється на: південний, центральний і північний. Перші два заповнені внутрішніми відвалами і на території побудовано завод складних мінеральних добрив і склад фосфогіпсу.

Тільки в центральному залишилась виїмка об'ємом 1,2 млн м<sup>3</sup>, яку заповнено кислотними водами, що височуються з відвалу фосфогіпсу.



**Рис. 2.5.** Розташування місць складування хвостів флотації у зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" в на космоснімку

Схематичний геологічний розріз хвостосховища №2 показано на рис. 2.6 [136].



**Рис. 2.6.** Схематичний геологічний розріз хвостосховища №2 та місце локалізації хвостів флотації [29].



Сірководневі води витікають з дренажів у східній частині хвостосховища №1 (рис. 2.7).

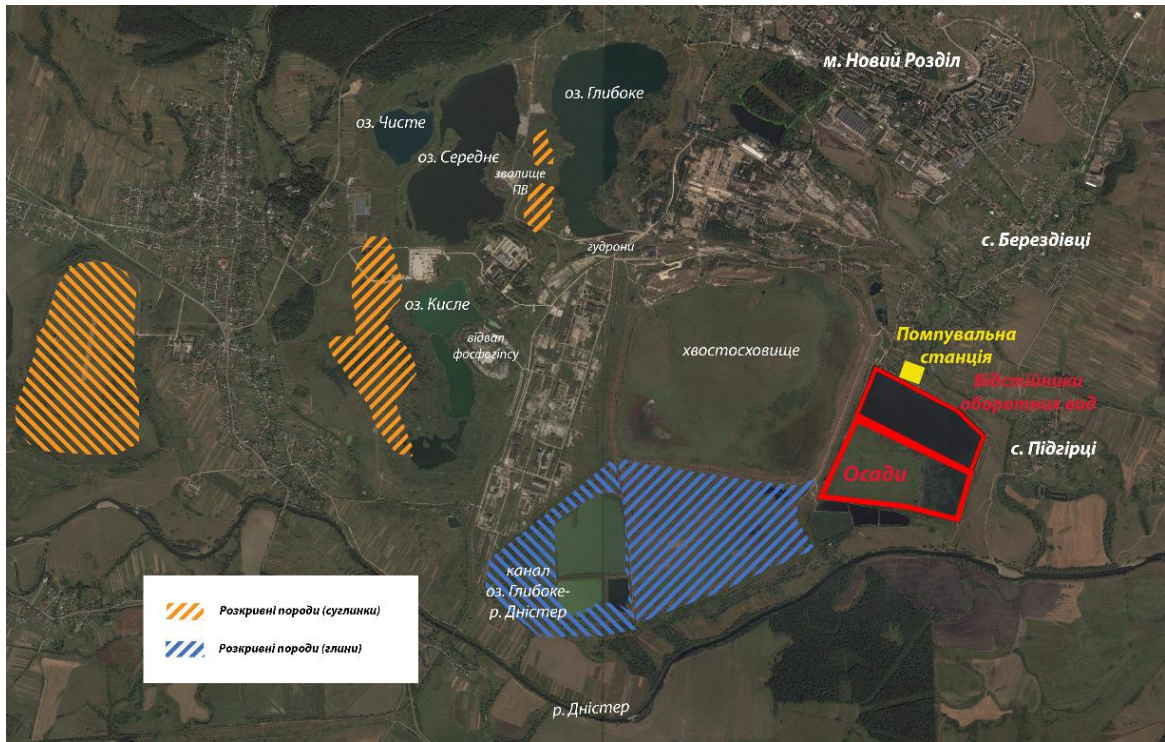
Унаслідок виїмки хвостів флотації порушується відновлений ґрунтово-рослинний шар, але який з часом дуже швидко відновлюється внаслідок їх фотофільності.

Технологією збагачення сірчаних руд Новороздільського гірничо-збагачувального комбінату передбачалось використання значних кількостей води. Для відновлення її якості шляхом відстоювання води, яка вийшла із технологічного процесу, облаштовано відстійники та система зворотної подачі оборотних вод. У відстійниках відбувалось осадження найтонших частинок з води.

Два відстійники із помпувальною станцією розташовано на півдні с. Березівці та на захід від с. Підгірці, примикають до східної частини хвостосховища №1 та відгороджено системою дамб висотою до 10 м (рис. 2.8).



**Рис. 2.7.** Витоки сірководневих вод з дренажів східної частини хвостосховища № 1



**Рис. 2.8.** Розташування відстійників оборотних вод, осадів з них та помпувальної станції на космоснімку.

Площа складу акумулювання осадів з оборотних вод становить 43 га (рис. 2.9).



**Рис. 2.9.** Розташування відстійників оборотних вод осадів та будівлі помпувальної станції на космоснімку.

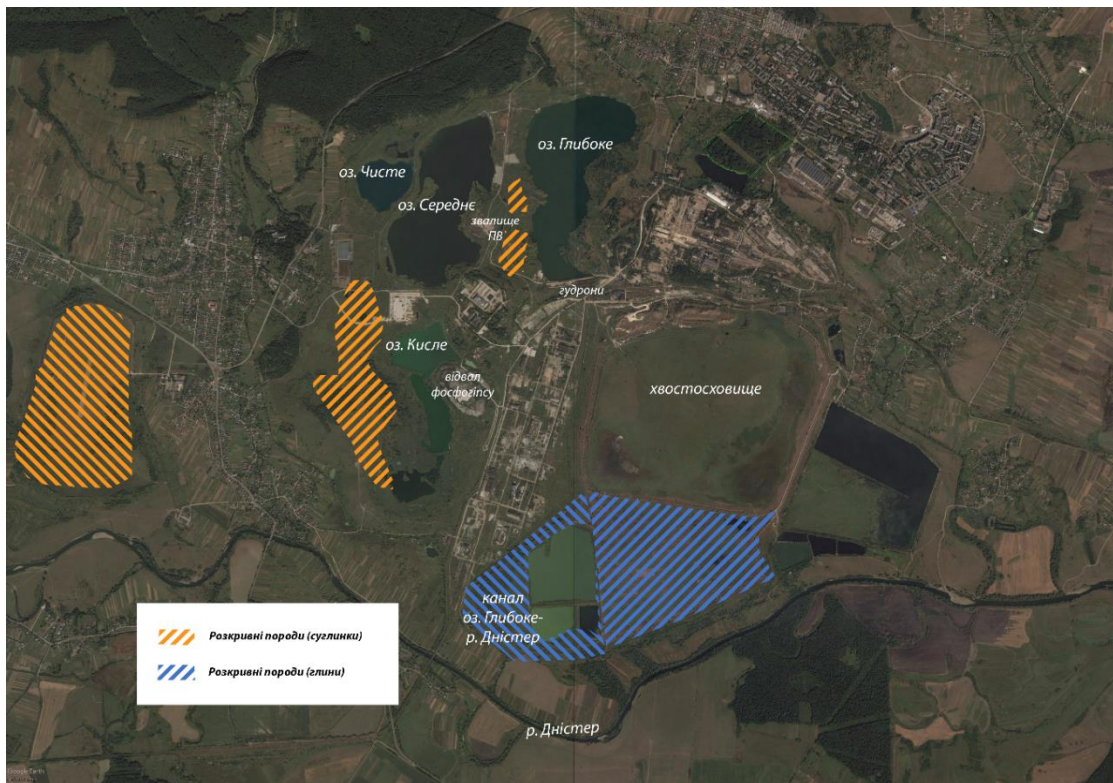
При середній потужності осади 3 м, загальний об'єм становить 1 млн 290 тис. м<sup>3</sup>.

За хімічним складом осади оборотних вод аналогічні хвостам флотації та відрізняються від них лише більш тонкодисперсним гранулометричним складом. На жаль, донині дослідження кількісного складу забруднювальних речовин на цій території та їх моделювання не проводилися.

Унаслідок інфільтрації атмосферних опадів та мікробіологічних змін елементарної сірки утворюється сірководневі води, які ймовірно витікають у відстійник оборотних вод.

Осадові породи, які перекривали поклади самородної сірки намівались у вигляді гідровідвалів (суглинки), засипали кар'єрні виїмки та накопичувались у вигляді відвалів (глини).

Розкривні суглинки заскладовано у гідровідвалах № 1 та №2 та в контурі акумулюючого басейну, тоді як розкривними глинами засипано до рівня денної поверхні кар'єрну виїмку та вище денної поверхні на відвалах (рис. 2.10).



**Рис. 2.10.** Розташування складу комової сірки на космоснімку

Площа гідровідвалу № 2 становить 150 га. При потужності 10 м об'єм суглинків за складованих тут становить 15 млн м<sup>3</sup>. Площа гідровідвалу № 1 та акумулюючого басейну становить 150 га. При потужності 5 м об'єм суглинків за складованих тут становить 9,5 млн м<sup>3</sup>. Загальний об'єм суглинків складованих у зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" становить 24,5 млн м<sup>3</sup>.

Загальний об'єм глин складованих вище денної поверхні у зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" становить 2,5 млн м<sup>3</sup>.

За мінеральним складом суглинки містять кварц, гідрослюди, змішано шаруваті мінерали, глини з монтморилоніту, кальциту, гідрослюди, кварцу, змішано-шаруватих мінералів.

Глини та суглинки фітофільні, добре заростають трав'яною рослинністю та не мають негативного впливу на довкілля.

Формування водного середовища у сірчаних водоймах відбувається під впливом змішування атмосферних опадів, поверхневих, ґрунтових і підземних вод, хімічної взаємодії води із затопленими й прикар'єрними відкладами та різними біохімічними процесами [137]. У формуванні водного середовища сірчаних водойм виокремлюють три періоди:

- 1) Затоплення кар'єрної виїмки. У цей час відбувається інтенсивне змішування атмосферних, поверхневих й підземних вод. Затоплення закінчується за умов досягнення рівня проектної відмітки й водні маси починають витікати у водотоки. У 2012 р. остаточно заповнилися водойми Чисте, Середнє і Глибоке. Створення водойм сприяє відновленню самоплинного стоку в р. Дністер.

- 2) Трансформації водних мас. Притоки підземних вод зменшуються й поступово стабілізуються. Водойми стають слабопроточними й відбувається пристосування гідробіонтів до водного середовища. Формується берегова лінія, мілководні зони та вертикальна термічна, гідрохімічна і біохімічна стратифікація водойм. Тривалість періоду трансформації становить від 5 до 20 років;

3) Стабілізації водного середовища. У цей період завершиться пристосування гідробіонтів до довкілля. Остаточо сформується мілководна і глибоководна частини водойм. На глибині до 10 м у воду проникають сонячні промені і розвиваються макрофіти, що збагачують водне середовище киснем, а також засвоюють розчинені у воді поживні речовини, чим очищають воду від фосфору, калію, азоту і сірки. У свою чергу, у глибоких частинах водойм розкладаються відмерлі органічні частини й виділяється сірководень, аміак і вуглекисла кислота. Інтенсивність утворення сірководню залежить від кількості органічної речовини й з часом зростатиме. Сірчані водойми нині не досягли стабільних гідроекологічних показників. Більшість сірчанних водойм нині перебуває на стадії трансформації водних мас, коли відбувається їхня стратифікація. При цьому виділено верхній багатий киснем й інтенсивно переміщуваний шар (епілімніон), перехідний шар із різкими змінами основних гідроекологічних показників (металімніон) і глибоководний слабозміщуваний шар із сталими гідроекологічними показниками (гіполімніон) [138, 29].

Гірничо-хімічна діяльність змінює геологічне середовище і спричиняє геофізичні зміни. Післяексплуатаційний період гірничо-хімічного підприємства негативно впливає на хімічний склад та інтегральні показники ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Застарілість та недостатня ефективність комплексів з утилізації токсичних і екологічно небезпечних відходів тільки погіршує екологічну ситуацію [139].

Отже, на території Роздільського ДГХП "Сірка" виділено 11 джерел небезпеки:

- фосфогіпс;
- комова сірка;
- хвости флотації;
- затоплені кар'єри;
- осади оборотних вод;
- модифікатор типу "МГ", виготовлений з нейтралізованих гудронних залишків та котлових залишків ангідриту малеїнової кислоти;

- сміттєзвалище;
- поверхневі води;
- підземні води;
- забруднені ґрунти;
- екзогенні геологічні процеси та спотворення рельєфу (рис. 2.11) [140, 141].



**Рис. 2.11.** Порушення екологічної рівноваги території Роздільського ДГХП "Сірка"

### 2.3. Стан екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації

Екологічна безпека – системний методологічний інструментарій, що ґрунтується на фундаментальних еколого-соціальних та біосферних закономірностях, які мають комплексний характер і тісно пов’язані з різними сферами суспільного життя [142]. Екологічна безпека встановлює порушений взаємозв’язок людини і природи та гармонізує їх співіснування, а також

сприяє розміреному, розумному використанню природних ресурсів людиною. Екологічна безпека пов'язана з сучасним розумінням екології, екологічної політики. В основі екологічної безпеки лежить фактор надійної захищеності природи від негативного впливу людства, та охорони людства від руйнівних наслідків його ж дій, пов'язаних з нормальними умовами проживання на планеті. Завдяки екологічній безпеці здійснюється прямий зв'язок між соціумом і природою. Екологічна безпека – це стан захищеності кожної окремої особи, суспільства, держави і довкілля від надмірної екологічної небезпеки [143].

Екологічна небезпека – це наявність дій та процесів, що можуть впливати на стан навколишнього природного середовища, яке внаслідок надмірного забруднення обмежує або виключає можливість життєдіяльності людини та впровадження господарської діяльності в цих умовах [144].

Відповідно до розробленої класифікації всі методи оцінювання стану екологічної небезпеки (ЕН) поділяють на два типи: інтегральні та диференціальні (рис. 2.12) [145].

Який би метод не використовувався – передумовою визначення рівня екологічної безпеки є оцінювання стану довкілля. Для оцінювання якості елементів довкілля використовують комплексні показники.

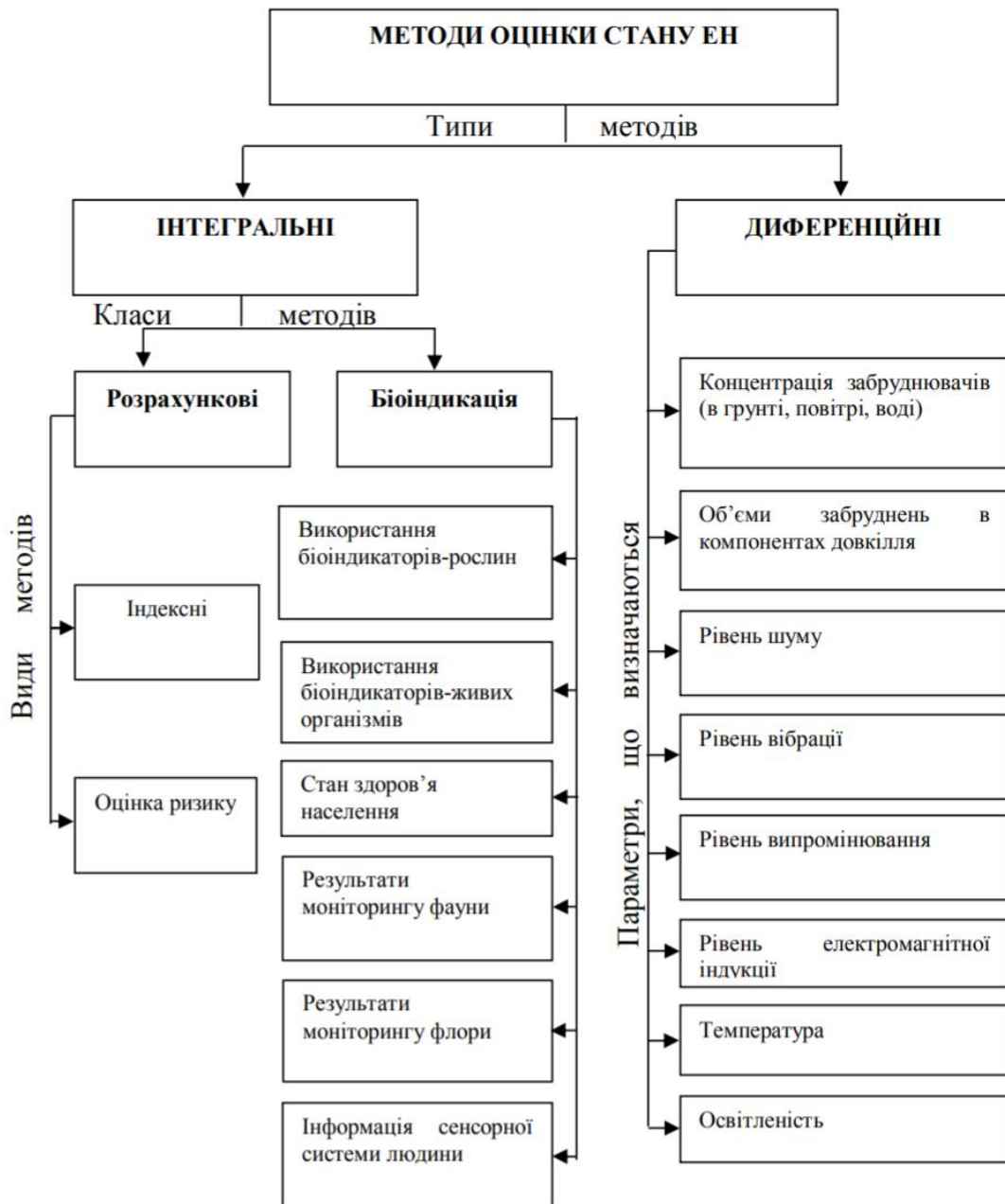
Наприклад, для оцінювання якості водних об'єктів використовують гідрохімічний індекс забруднення води (ІЗВ) (2.1), який розраховують за 5-6 показниками, які можна вважати гідрохімічними (БСК, рН, концентрація розчиненого кисню у воді і тощо) [146].

$$\text{ІЗВ} = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / \text{ГДК}_i}{N}, \quad (2.1)$$

де  $C_i$  – концентрація компонента (параметра);

$N$  – кількість показників, які використовуються для розрахунку індексу;

$\text{ГДК}_i$  – встановлене значення гранично допустимої концентрації.



**Рис. 2.12.** Ієрархічна класифікація методів оцінювання стану екологічної небезпеки [145]

Перевагами цього індексу є простота обчислення, також дані для нього зазвичай доступніші, ніж для розрахунку інших індексів.

У США застосовують Оригонський індекс якості води (ОІЯВ) (2.2) [147]. В його основі лежить середньоквадратичне значення, яке не дуже чутливе до змін окремих параметрів.

У комплексному оцінюванні, коли застосовується велика кількість інгредієнтів і показників, в оцінювальному модулі можна не помітити



невеличкі, незначні індивідуальні зміни у водному об'єкті, які, наприклад, можуть характеризувати початкові процеси евтрофікації водойм. Тому в Оригонському індексі кількість показників якості води зведена до мінімуму.

При розрахунку ОІЯВ враховують такі параметри: температуру, розчинений кисень, рН, БСК<sub>5</sub>, насиченість киснем, загальний Нітроген та Фосфор, мінералізацію, зміни яких характеризують процеси кисневої недостатності та евтрофікації, зміну фізичних параметрів, наявність небезпеки для здоров'я населення і т. ін.:

$$\text{ОІЯВ} = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n S \cdot I_i^2}}, \quad (2.2)$$

де  $SI_i$  – субіндекс  $i$ -го параметра,  $n$  – число  $SI_i$ .

У розрахунках ОІЯВ всі вищезгадані параметри трансформуються у відповідні невимірювані субіндекси, значення яких знаходиться в межах 0-100. ОІЯВ можна використовувати як під час дослідження сезонних змін екологічного стану водних об'єктів, так і в оцінюванні багаторічного прогнозу. Головна небезпека полягає у прояві синергізму, коли присутність однієї речовини посилює токсичність іншої, або коли дві токсичні речовини створюють сполуку, токсичність якої вища, ніж початкова [146].

У праці [146] Архипова Л.М. для оцінювання наскільки якісний стан водного об'єкту має потенціал чистоти порівняно з допустимими значеннями показників якості води України та Європи запропонувала використовувати "Індекс гідроекологічного потенціалу" (ІГЕП) (2.3):

$$\text{ІГЕП} = \left( \sum \frac{\text{НЯ}_i}{C_i}, \text{якщо } > 0, \text{якщо } < 0, \text{тоді } \sum - \frac{\text{НЯ}_i}{C_i} \right) / n, \quad (2.3)$$

де НЯ – норматив якості води конкретного показника;  $i$  – показник;  $n$  – кількість показників.

Межу токсичної дії конкретного важкого металу встановити дуже складно, бо техногенне забруднення ґрунту зазвичай є поліелементним. І тому вкрай необхідною є санітарно-гігієнічна оцінка стану ґрунтів, а також рослин, на основі розрахунку сумарного показника забруднення  $Z_c$ .

Для оцінювання рівня забруднення ґрунтового середовища можна використовувати сумарний показник забруднення  $Z_c$  (2.4, 2.5, 2.6) для  $n$  врахованих аномальних факторів, який визначає поліелементне забруднення ґрунту і вираховується за рівнянням Ю.Є. Саєта (2.14) [148]:

$$K_c = C_i / ГДК_i \quad (2.4)$$

або

$$K_c = C_i / C_{\phi_i}, \quad (2.5)$$

де  $C$  – вміст визначеного хімічного елементу в ґрунті, мг/кг;  $C_{\phi_i}$  – фоновий вміст визначеного хімічного елементу в ґрунті, мг/кг; ГДК – гранично допустима концентрація забрудненої речовини, мг/кг.

$$Z_c = (C_1 / ГДК_1 + C_2 / ГДК_2 + \dots + C_n / ГДК_n) + 1, \quad (2.6)$$

де  $Z_c$  – сумарний показник забрудненості ґрунтів;  $C_i / ГДК_i$  – коефіцієнт концентрації  $i$ -го хімічного елементу у пробі ґрунту;  $n$  – кількість врахованих хімічних елементів.

Сумарний показник забрудненості може бути визначений як для всіх елементів однієї проби, так і для ділянки території за геохімічною вибіркою. У нашому випадку вираховано сумарний показник забруднення у точках відбору проб: на відстані 1 м, 5 м, 10 м, 20 м від гудронів; 1 м, 5 м, 10 м, 20 м від відвалу фосфогіпсу; 1 м, 5 м, 10 м, 20 м від хвостосховища. Так як у кожній точці відбору проб є лабораторні результати і у глибину, то обчислено середні значення кожного елемента у певній точці. Місце відбору фонові проби знаходиться біля адмінбудівлі Роздільського ДГХП "Сірка".

Оцінювання небезпечності забруднення ґрунтів комплексом хімічних елементів за показником  $Z_c$  виконують за оціночною шкалою, градацію якої розроблено на підставі вивчення стану здоров'я населення, яке мешкає на територіях з різними рівнями забрудненості ґрунтів (табл. 2.1).

За даними інтенсивності та сумарного показника забруднення готують моноелементні карти забруднення ґрунтів та поширення геохімічної асоціації.

Відповідно до нижченаведеної градації (табл. 2.1, 2.2) (рис. 2.13) екологічну ситуацію забруднення ґрунтів важкими металами біля гудронів на території підприємства оцінено в межах від допустимого забруднення до небезпечного забруднення. Біля відвалу фосфогіпсу ґрунти віднесено до допустимої, помірно небезпечної та небезпечної категорії забруднення ґрунту. Встановлено, що на відстані 20 м від хвостосховища ґрунти належать до небезпечної категорії ґрунту, ближче – до помірно небезпечної. Величина коефіцієнту концентрації свідчить про активність процесів вилуговування ( $K_c < 1$ ) і накопичення ( $K_c > 1$ ) речовин у генетичних горизонтах ґрунту.

Табл. 2.1

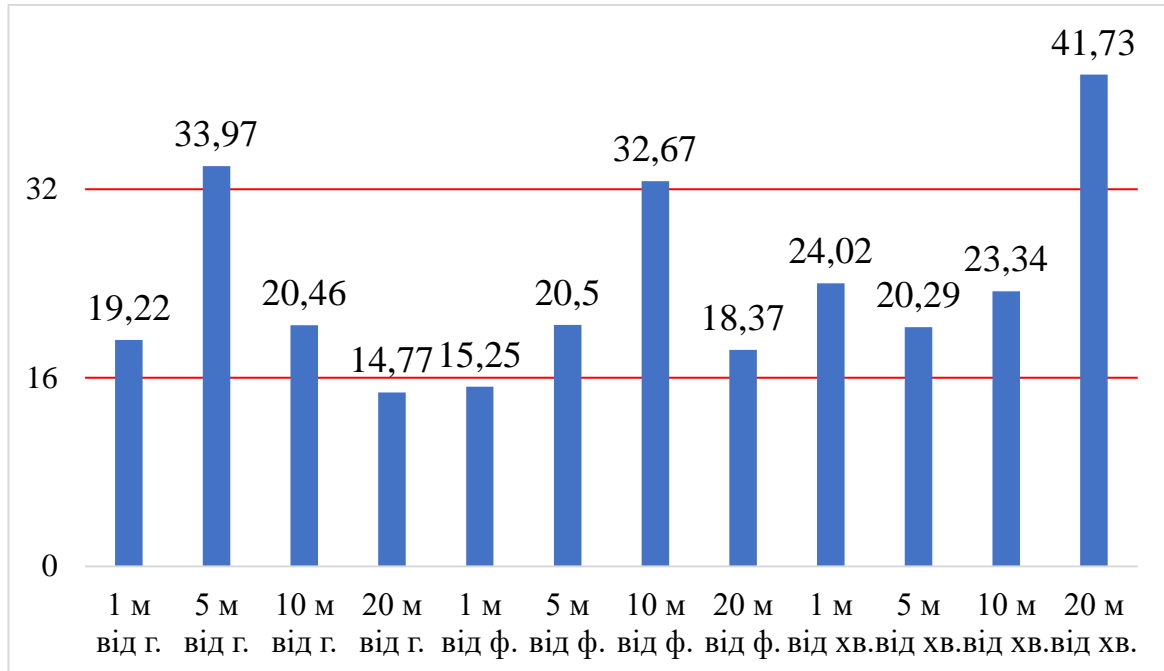
**Орієнтовна оціночна шкала небезпечності забруднення ґрунтів за сумарним показником  $Z_c$**

<b>Категорія забруднення ґрунту</b>	<b><math>Z_c</math></b>	<b>Зміна показників якості здоров'я мешканців у зонах забруднення</b>
Допустиме забруднення	$\leq 16$	Найнижчий рівень захворюваності дітей та мінімум функціональних відхилень у дорослого населення.
Помірно небезпечне	17-32	Підвищення загального рівня захворюваності.
Небезпечне	33-127	Підвищення загального рівня і кількості захворюваності дітей, кількості дітей з хронічними захворюваннями, порушення функціонування серцево-судинної системи.
Дуже небезпечне	$>128$	Підвищення захворюваності дітей, порушення репродуктивної функції у жінок.

Сумарний показник забруднення  $Z_c$  у відібраних пробах

Сумарний показник забруднення	$K_c(As)$	As	$K_c(Sr)$	Sr	$K_c(Cr)$	Cr	$K_c(Cu)$	Cu	$K_c(Zn)$	Zn	$K_c(Pb)$	Pb	$K_c(Mn)$	Mn	Елемент/ Показник забруднення
															ГДК / фон
		2		1000		1,23		2,25		7,20		1,47		98,24	ГДК / фон
<b>19,22</b>	-	-	4,34	4338,98	-	-	2,89	6,50	1,96	14,10	12,41	18,25	1,62	159,37	1 м від Г.
<b>33,97</b>	-	-	-	-	10,68	13,14	5,14	11,57	0,67	4,82	17,13	25,18	4,35	426,91	5 м від Г.
<b>20,46</b>	-	-	0,06	61,48	14,27	17,55	2,05	4,62	2,06	14,84	3,87	5,69	3,14	308,65	10 м від Г.
<b>14,77</b>	-	-	2,96	2964,95	-	-	4,26	9,59	1,97	14,18	7,42	10,91	2,15	211,36	20 м від Г.
<b>15,25</b>	-	-	4,21	4210,69	-	-	10,06	22,63	1,21	8,69	1,40	7,98	2,38	233,46	1 м від Ф.
<b>20,50</b>	-	-	3,44	3437,17	-	-	16,76	37,70	1,08	7,77	-	-	2,23	218,93	5 м від Ф.
<b>32,67</b>	2,41	4,81	2,37	2366,11	14,80	18,20	8,40	18,91	1,86	13,39	5,97	8,77	2,87	282,28	10 м від Ф.
<b>18,37</b>	2,03	4,06	0,49	487,59	9,58	11,78	2,94	6,62	1,54	11,06	5,50	8,08	2,30	226,38	20 м від Ф.
<b>24,02</b>	-	-	4,32	4321,93	-	-	15,62	35,14	0,82	5,92	5,03	7,39	2,23	219,04	1 м від Хв.
<b>20,29</b>	-	-	4,14	4138,57	-	-	9,59	21,57	0,88	6,36	7,42	10,91	2,26	222,05	5 м від Хв.
<b>23,34</b>	-	-	3,86	3856,69	-	-	13,97	31,44	0,86	6,20	6,62	9,73	2,03	198,95	10 м від Хв.
<b>41,73</b>	6,17	12,33	4,48	4477,16	-	-	24,34	54,76	1,28	9,24	8,18	12,02	2,29	225,42	20 м від Хв.

Також за допомогою сумарного показника забруднення  $Z_c$  в ІАСМ можна визначити зонування за рівнем небезпечності забруднення ґрунтів території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.



**Рис. 2.13.** Сумарний показник забруднення на території підприємства

Оцінювання рівня екологічної безпеки є досить складним завданням, оскільки цей процес містить багато чинників та аспектів, котрі важко виразити єдиним показником чи індексом. Очевидно, що для визначення рівня екологічної безпеки необхідно використовувати систему показників, кожен з яких в свою чергу має комплексно відображати стан того конкретного об'єкту довкілля чи процес, що відбувається у зв'язку з техногенним впливом.

Формула функціональної залежності екологічної безпеки  $S_e$  гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації від джерел небезпеки:

$$S_e = f(A, W_s, W_w, S, G, W, E), \quad (2.7)$$

де  $A$  – показник якості повітря;

$W_s$  – показник якості поверхневих вод;

$W_u$  – показник якості підземних вод;

$S$  – показник якості ґрунтів;

$G$  – показник екзогенних геологічних процесів, який залежить від: зсувів, землетрусів, спотворення рельєфу і т.д.;

$W$  – обсяг накопичених відходів на досліджуваній території

$E$  – показник екологічної стабільності території, який залежить від виконання проекту ліквідації та рекультивації та проведення моніторингу довкілля.

Оскільки основні джерела небезпеки Роздільського ДГХП "Сірка" визначено, виникає питання підвищення екологічної безпеки території.

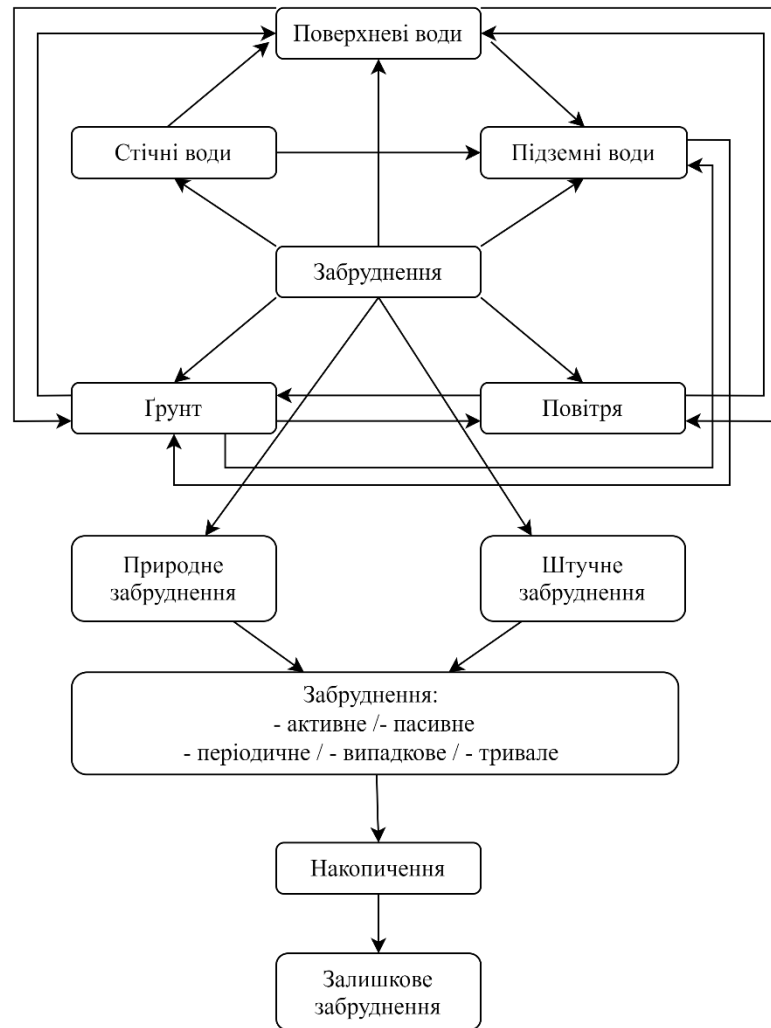
Покращення стану екологічної безпеки неможливе без створення системи екологічного моніторингу. Відповідно до міжнародного досвіду встановлено, що засоби екологічного захисту, які використовують на гірничо-хімічних підприємствах, неспроможні запобігти погіршенню екологічної безпеки [149, 126]. Для розроблення ефективних засобів забезпечення екологічної безпеки необхідним є прогнозування стану елементів довкілля в зоні впливу цих підприємств. Моніторинг має бути одним з головних етапів рекультивації та ліквідації гірничого комплексу.

#### **2.4. Методи побудови системи екологічного моніторингу зони впливу гірничо-хімічного підприємства після завершення експлуатації**

Нині головним і загальним недоліком досліджень є недостатня реалізація системного підходу в науковому вирішенні гірничо-екологічних завдань [150].

Основою для розв'язання проблем прогнозування є моніторинг території, порушеної діяльністю гірничо-хімічного підприємства [151].

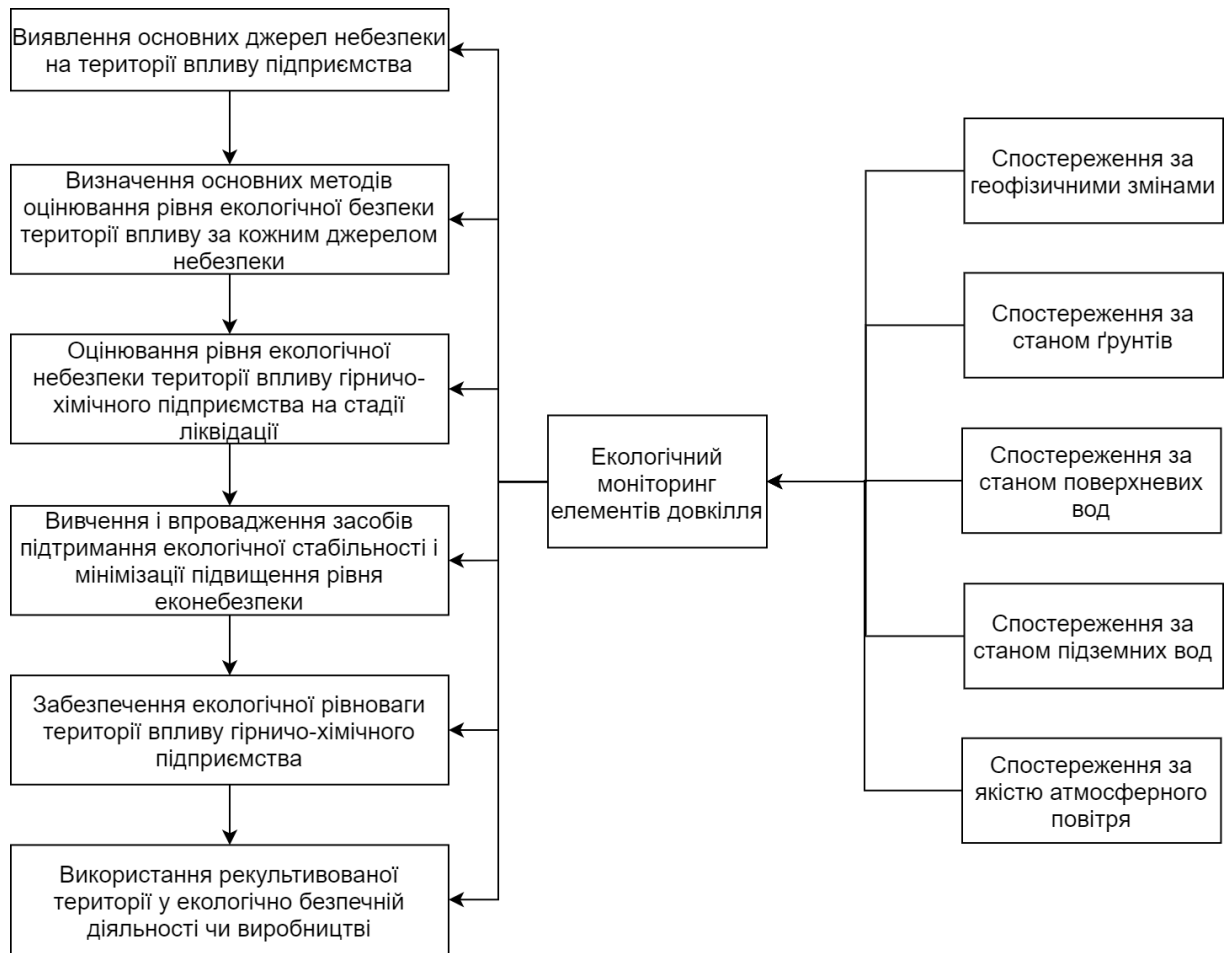
Під час оцінювання впливу забруднень на довкілля варто зазначити, що забруднення буває активне і пасивне (рис. 2.14).



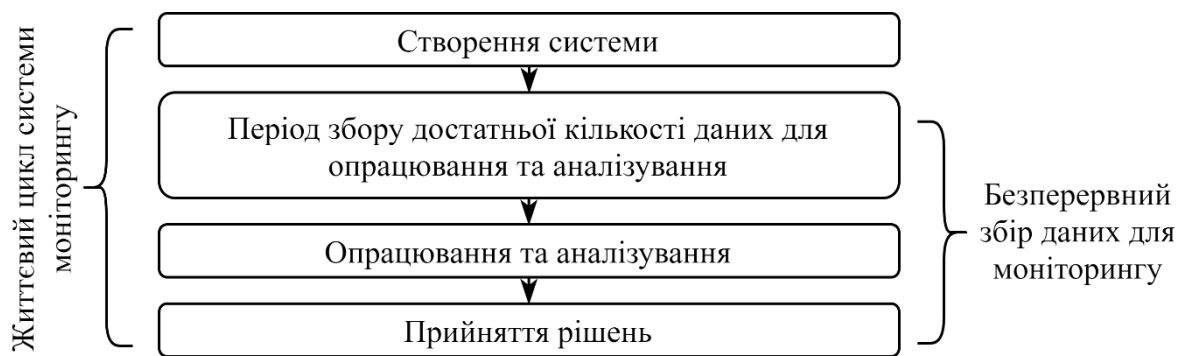
**Рис. 2.14.** Схема явища забруднення [152]

На рис. 2.15 зображено основні етапи післяексплуатаційного періоду гірничо-хімічного підприємства, коли забезпечується екологічна безпека [153, 154].

Для прогнозування зміни стану довкілля необхідно збирати дані з джерел екологічної небезпеки безперервно. Результат моніторингових даних повинен опрацьовуватися і аналізуватися циклічно в певні часові інтервали (рис. 2.16).



**Рис. 2.15.** Процедура оцінювання стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації



**Рис. 2.16.** Схема функціонування системи екологічного моніторингу

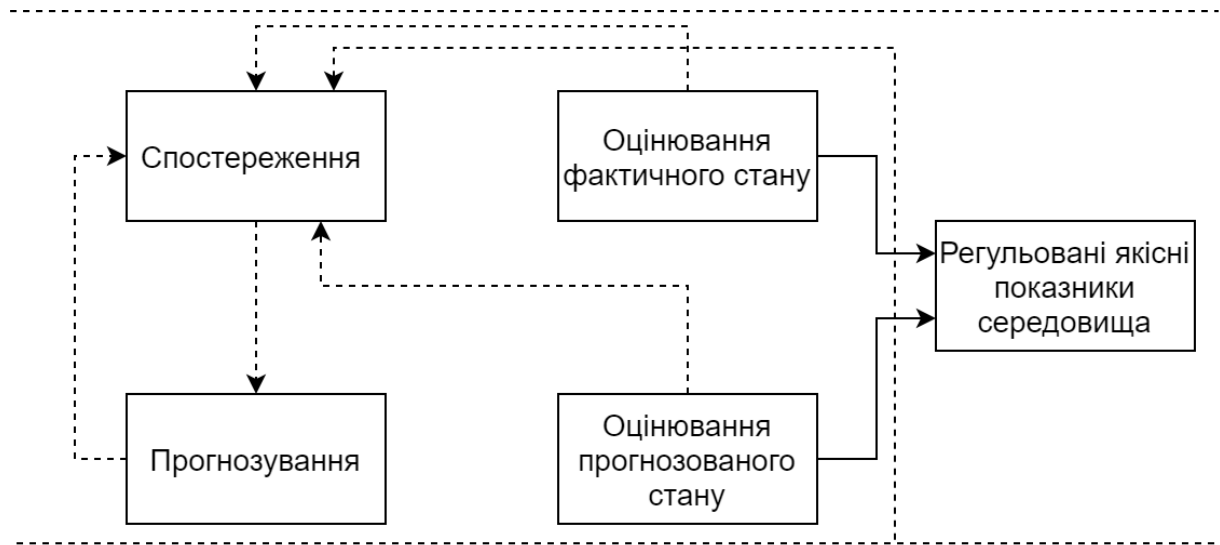
Функціонування системи екологічного моніторингу характеризується відношенням трьох часових параметрів (2.3):

$$T_{жц} \sim T_{п} \sim T_{р}, \tag{2.8}$$



де  $T_{жц}$  – час життєвого циклу системи екологічного моніторингу,  $T_{п}$  – період між етапами опрацювання та аналізування даних,  $T_{р}$  – час прийняття рішень та реалізації вимог системи для підвищення рівня екологічної безпеки.

Моніторинг основних елементів небезпеки також дає змогу вчасно відреагувати на негативні зміни і попередити погіршення стану довкілля (рис. 2.17).



**Рис. 2.17.** Система моніторингу [149]

Моніторинг та контроль стану території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації має бути комплексний і проводитися на всіх її етапах [140, 155].

## 2.5. Висновки до розділу 2

1. Отже, в роботі проаналізовано можливі варіанти ліквідації гірничодобувного підприємства. Ліквідація українських шахт та кар'єрів, у більшості випадків, є аварійною. Встановлено джерела екологічної небезпеки Роздільського ДГХП "Сірка", яке перебуває на стадії ліквідації та рекультивуації.

2. У результаті такого аналізу екологічна безпека подається у багатокомпонентній складовій та як форма і результат конструктивного аналізу основних джерел забруднення.

3. Екологічний моніторинг є одним із головних інструментів забезпечення оцінювання якості довкілля і одним з головних етапів процесу ліквідації та рекультивації і повинен проводитися на всіх етапах ліквідації. Крім системи моніторингу в процесі ліквідації та в післяліквідаційний період, проект ліквідації повинен містити екологічний аналіз діяльності підприємства, екологічне прогнозування. Це повинно завершуватися формуванням інформаційно-аналітичної системи екологічного стану території впливу підприємства із забезпеченням вільного доступу до інформації. Дотримання всіх умов дозволить підвищити екологічну безпеку території і вчасно відреагувати на надзвичайні екологічні ситуації, що зменшить екологічні, соціальні та економічні збитки.

Результати розділу 2 представлено в наукових працях [127], [132], [136], [137], [139], [140], [141], [151], [153], [154], [155].

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ РОЗДІЛЬСЬКИМ ДГХП "СІРКА"

У розділі 1 охарактеризовано сучасний стан екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств, а в розділі 2 визначено методи покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації. Одним із основних джерел екологічної небезпеки є ґрунти, забруднені діяльністю Роздільського ДГХП "Сірка". У розділі 3 виконано експериментальні дослідження забруднення ґрунтів.

#### **3.1. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах**

Раціональне використання земельно-ресурсного потенціалу – важлива проблема народногосподарського значення, яка потребує термінового вирішення, оскільки земля є основним засобом агропромислового виробництва.

Інтенсивне використання земельних ресурсів зумовлене тим, що земля є єдиною основою життя та праці людини, загальним предметом праці, засобом виробництва і знаряддям праці. Тому важливим сьогодні є дослідження стану земельних ресурсів регіону, особливостей їх трансформації, виявлення деградації та наукове обґрунтування шляхів оптимізації та раціоналізації землекористування. Дослідження кількісних і якісних характеристик земельних ресурсів дасть можливість встановити виявити реальний їх стан [103, 156].

Для нашої держави на поточному етапі розвитку та в її найближчому майбутньому значну роль буде мати проблема закриття гірничих підприємств та трансформації техногенних ландшафтів в природний стан, наскільки це можливо з точки зору технічних, технологічних, економічних умов в контексті вирішення пріоритетних екологічних проблем. Значна кількість

гірничопромислових комплексів або вже реалізувала свій економічно доцільний ресурсний резерв корисних копалин, або потребують нової методологічної основи з точки зору реалізації екологічної безпеки довкілля. У Західному регіоні України в найближчі роки будуть послідовно ліквідовано вугільні шахти Львівсько-Волинського басейну, соляні рудники та кар'єри Передкарпаття, сірчані кар'єри, отже є необхідність визначення основних оптимізаційних заходів щодо керованого контролю станом довкілля після завершення гірничо-хімічної діяльності та ліквідації гірничопромислового комплексу. Головний і загальний недолік теперішніх досліджень – недостатня реалізація системного підходу в науковому вирішенні гірничо-екологічних завдань [64, 63].

Одним із важливих чинників оцінювання використання земель є показник екологічної стабільності території. Рівень екологічної стабільності конкретної території земельно-господарських структур зумовлює прийняття управлінських і проектних рішень щодо раціонального використання та охорони земель, впливає на розроблення стратегії розвитку сільських територій. Тому проблема одержання достовірної її оцінки на всіх рівнях (від земельного угіддя до території місцевих рад, районів, областей у цілому) є актуальною і вимагає свого вирішення .

Роздільське ДГХП "Сірка" належить до екологічно нестабільних територій [157].

Промислові підприємства України викидають в біосферу велику кількість шкідливих речовин, серед яких важливими негативними чинниками є важкі метали.

До забруднювачів навколишнього природного середовища належать важкі метали, пестициди, окремі похідні вуглецю, сірки, азоту, фтору, різні вуглеводні, синтетичні органічні речовини, радіонукліди та інші шкідливі речовини.

Відповідно до чинного стандарту хімічні речовини, що надходять у ґрунт з викидами і відходами, поділяють на три класи за ступенем загрози (табл. 3.1).

До ґрунту потрапляє величезний комплекс хімічних елементів. Рілля і лісові ґрунти забруднюються сіркою та її сполуками, які підкислюють ґрунт. Засолення ґрунтів відбувається внаслідок надходження з різних джерел содових солей. Токсичність ґрунтів спричиняють сполуки Цинку, Плюмбуму, Купруму, Арсену, Фтору, Барію, Меркурію. Однією із найнебезпечніших токсичних речовин, що потрапляють у ґрунт з відходами промисловості, є ртуть. Вивчення міграції сполук Меркурію свідчить, що верхні шари родючих ґрунтів наділено дуже високою сорбційною здатністю, і вимивання з них ртуті практично відсутнє або зовсім незначне. Сполуки Меркурію рухоміші у кислих ґрунтах з легким механічним складом і невисоким вмістом гумусу. Органічні сполуки здатні швидко випаровуватися з поверхні таких ґрунтів. Випаровування ртуті з ґрунту зменшується із збільшенням його вологості.

*Табл. 3.1.*

### Класи забруднювачів за ступенем небезпеки

Клас	Хімічний елемент чи речовина
<b>I. Дуже небезпечні</b>	Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F, бензопірен
<b>II. Помірно небезпечні</b>	Cu, Co, Ni, Mo, Cr, B, Sb
<b>III. Мало небезпечні</b>	V, W, Mn, Sr, Ba, ацетофенол

Канцерогеном, який згубно діє на всі ґрунтові організми, є Плюмбум. Він надходить у ґрунт двома шляхами: природним – силікатний пил, вулканічні аерозолі, вулканічні силікатні аерозолі, дим лісових пожеж, морські солі, метеоритний пил; та антропогенним – згорання етилованого бензину (у світі виробляється  $3,5 \times 10^6$  т свинцю, з яких  $3,1 \times 10^5$  т спалюється з етилованим бензином), під час виробництва свинцю (під час виплавлення 1 т свинцю в атмосферу викидається до 25 кг), спалювання кам'яного вугілля, яке містить Плюмбум, видобування Плюмбуму. Він адсорбується гумусовим

шаром ґрунту. Для цієї речовини характерна незначна міґрація в дерново-підзолистих ґрунтах і транзитне перенесення з верхніх шарів у нижні на еродованих ґрунтах. Адсорбція свинцю гумусом активізується в лужному середовищі. Свинець спричиняє появу важкорозчинних осадів основних карбонатів, фосфатів або гідроксидів, що впливають на живлення рослин. Токсичність ґрунтів для рослин зумовлює концентрація Плюмбуму в межах 20-30 мг/кг.

Арсен надходить у ґрунт внаслідок згоряння вугілля і як складова відходів медичної, металургійної, хімічної промисловості. Він акумулюється в ґрунтах, які містять активні форми Феруму, Алюмінію, Кальцію. За значних концентрацій миш'яку відбувається його швидка міґрація в нижні горизонти ґрунтового покриву.

Кадмій потрапляє у ґрунт під час згоряння дизельного палива, виплавки руд та внесення добрив. Максимальна адсорбція Кадмію відбувається в ґрунтах з великою ємністю вбирання, значним вмістом гумусу та високим показником рН. Міґрація Кадмію в глибину збільшується із зменшенням вмісту гумусу, а також у ґрунтах з легким механічним складом.

Незважаючи на велику кількість накопичених відходів техногенного походження, що містять важкі метали, дотепер практично відсутні методи прогнозування забруднення ними навколишнього середовища, моделювання процесів міґрації солей на їх основі, існує дуже мало інформації про взаємодію цих сполук з навколишнім природним середовищем [67].

Надлишкова кількість важких металів у ґрунтах – це дуже небезпечний екологічний фактор, дія якого посилюється через проникнення сполук важких металів в ґрунтові води, накопичення в організмах рослин, негативний вплив на ґрунтові організми та вирощування екологічно небезпечної продукції [158].

За даними Національного центру Інституту ґрунтознавства і агрохімії, нині близько 20% території України забруднено важкими металами, що негативно позначається на екологічному стані довкілля [158].

Зважаючи на значимість негативного впливу важких металів для екологічного стану та родючості ґрунтів, якості сільськогосподарської продукції, умов існування біоти і здоров'я людини, потрібно, з одного боку, покращувати контроль за їх надходженням в екосистеми, а з іншого – удосконалювати технології промислового виробництва для зменшення викидів у навколишнє середовище небезпечних речовин, зокрема важких металів [159]. Також потрібно зменшити їх присутність в ґрунтах.

### **3.2. Методи визначення забруднювачів у ґрунтах**

Існує багато методів визначення забруднювачів у ґрунтах [160, 161]. Деякі з них подано в табл. 3.2.

Проби, які відібрано в 2016 р. на території Роздільського ДГХП "Сірка", проаналізовано мас-спектральним методом. Він базується на методі східчастого ослаблення спектральних ліній (метод Клера). Суть методу полягає в спалюванні проби графіту в суміші з буферним порошком в каналі вугільного електрода, фотографуванні спектру випромінювання на фотопластинку і кількісному визначенні Si, Cu, Ni, Pb, Co і As по інтенсивності їх спектральних ліній. Метод східчастого ослаблення засновано на тому, що інтенсивність спектральних ліній, сфотографованих під час порушення спектру однієї аналізованої проби, зменшується ступінчасто за висотою з допомогою спеціального послаблювача, розташованого безпосередньо перед вхідною щілиною спектрографа. На підставі візуального розгляду спектральних ліній в сфотографованих таким способом спектрах проб стандартних зразків можна скласти таблиці або побудувати залежності числа спостережуваних ступенів для аналітичних ліній елементів від їх концентрації в пробі.

**Методи визначення забруднювачів в об'єктах довкілля**

Метод	Визначення інгредієнтів в об'єктах довкілля		
	У ґрунтах і донних мулах	У природних водах	У повітрі (газах і аерозолях)
1	2	3	4
Гравіметричний	Вологість, мінеральний залишок, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , карбонати	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , нафтопродукти, завислі речовини, мінеральний	Запиленість (вміст пилових часток)
Титрометричний	CO <sub>3</sub> , HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> , Ca, Mg	Оксиген (розчинений), CO <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , твердість води (загальна і карбонатна), ХСК, БСК <sub>5</sub>	Кислоти та кислотні оксиди
Фотометричний	NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , F, PO <sub>4</sub> , Al, Hg, Cu, NH <sub>4</sub>	Колір, органічні речовини, H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , P (неорг.), Al, Cu, Fe	CO, CS <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HCl, HCl <sub>3</sub> , Al, Fe, РЬ, пестициди, органічні сполуки
Фотометрія полум'я	Na, K	Li, Na, K, Ca	Li, Cs, K
Емісійна спектрометрія	Метали, мікроелементи, бор	Li, Na, K, Ca, Sr, Ba, Си, Al, Fe, РЬ	Be
Атомно-абсорбційна спектроскопія	Cu, Ni, Zn, Hg, Pb, Cr	Ca, Mg, Cu, Pb, Hg та ін.	Hg, Cd, Sr, Cu, Pb та ін.
Кінетичний і хемілюмінесцентний	Катіони важких металів	Mn, Cu, Ni, Fe (III), амінокислоти	Озон



прод. табл. 3.2.

	2	3	4
Потенціо-метричний	pH, F, NO <sub>3</sub> , K, Ca	pH, F, NO <sub>3</sub> , K, Ca, Cu, Cl, окисно-відновний	HF, ненасичені органічні сполуки
Радіометричний	Sr- 90, Cs-137, U-238	Sr-90, Cs-137, U-238, Pu-239	Br-90, Cs-137
Хромато-графічний	Нафтопродукти, хлорорганічні сполуки, вуглеводні, пестициди	Na, K, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg, SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , Ca, органічні сполуки	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , CCl <sub>4</sub> , Al, Cu, органічні сполуки
Мас-спектральний	Al, Ba, Be, V, Bi, W, Ga, Hf, Ge, Fe, Au, In, Y, Cd, Ca, Co, Si, La, Li, Mg, Mn, Cu, Mo, As, Na, Ni, Nb, Sn, Pt, Pb, Ag, Sc, Sr, Sb, Tl, Ta, Te, Ti, Th, C, U, P, Cr, Ce, Zn, Zr	–	–
Рентген-флюоресцентний	Від Na до U	Від Na до U	–
Рентгенівської дифракції	Важкі метали	–	–

Масові частки оксидів елементів у відсотках визначають за градувальними графіками, а масові частки елементів у відсотках  $X_{ел}$  визначають за формулою (3.1):

$$X_{ел} = \frac{C \times n \times A_{ел}}{M_{ок}}, \quad (3.1)$$

де  $C$  – масова частка оксиду елемента, який визначають, знайдена за градувальним графіком, %;

$n$  – кількість атомів елемента в молекулі оксиду;

$A_{ел}$  – атомна маса елемента, який визначають;

$M_{ок}$  – молекулярна маса оксиду елемента, який визначають.

Поряд з традиційним використанням у металургії та промислових підприємствах для аналізу металів і сплавів, в геології, археології, в астрофізиці, в аналітичній хімії, спектральний аналіз все частіше знаходить собі застосування в таких галузях як екологія, харчова промисловість, сільське господарство і медицина. Застосування спектрального аналізу в екології – це аналіз донних відкладів, ґрунтів, води, рослин, золи, волосся тварин і людини для оцінювання зони екологічного ураження. Чутливість цього методу дуже висока: за допомогою спектрального аналізу можна виявити елемент у складі речовини, навіть якщо його маса не перевищує 0,1 нг [162].

Проби ґрунтів, які відібрано в 2017 р., проаналізовано за допомогою методу рентгенівської дифракції (XRD) [163]. Концентрацію елементів у зразку визначали за допомогою рентгенівської спектрометрії за допомогою рентгенівського спектрометра S2 PICOFOX Bruker – тип детектора: кремнієвий детектор дрейфу, генератор високої напруги: MNX 50P50/XCC, джерело рентгенівського випромінювання: металокерамічний повітряно-охолоджений MCB50-0.7G, рентгенівська оптика: багат шаровий монохроматор.

Процес підготування проби для аналізування:

1. Спочатку готують водний розчин концентрованого стандарту галію (100 мкл) у дистильованій воді (10 мл).
2. До 20 мл стандартного водного розчину галію додають 1 мл зразка і добре перемішують (5 с).
3. Підготовлені зразки наносять на кварцові носії та аналізують на рентгенівському спектрометрі. Час аналізу складає 1000 секунд. Визначення проводяться в режимі ручного вимкнення – робота на максимальній потужності лампи 50 Вт, енергія 50 KeV.
4. Результати вимірюють в одиницях мкл/л.

Визначення характеристик твердих тіл є важливим для досліджень в геології, природознавстві, матеріалознавстві, техніці та біології. За допомогою цього методу визначають: характеристики кристалічних матеріалів; виявлення

дрібнозернистих мінералів, зокрема, глин; точне визначення параметрів елементарної комірки; вимірювання чистоти зразка.

За допомогою спеціальних технік метод порошкової дифракції можна використовувати для: визначення та уточнення кристалічної структури за допомогою метода Рітвельда; кількісне визначення компонентів зразка; характеристики зразків плоских рентгенівських плівок; дослідження текстури в полікристалічних матеріалах [164, 163].

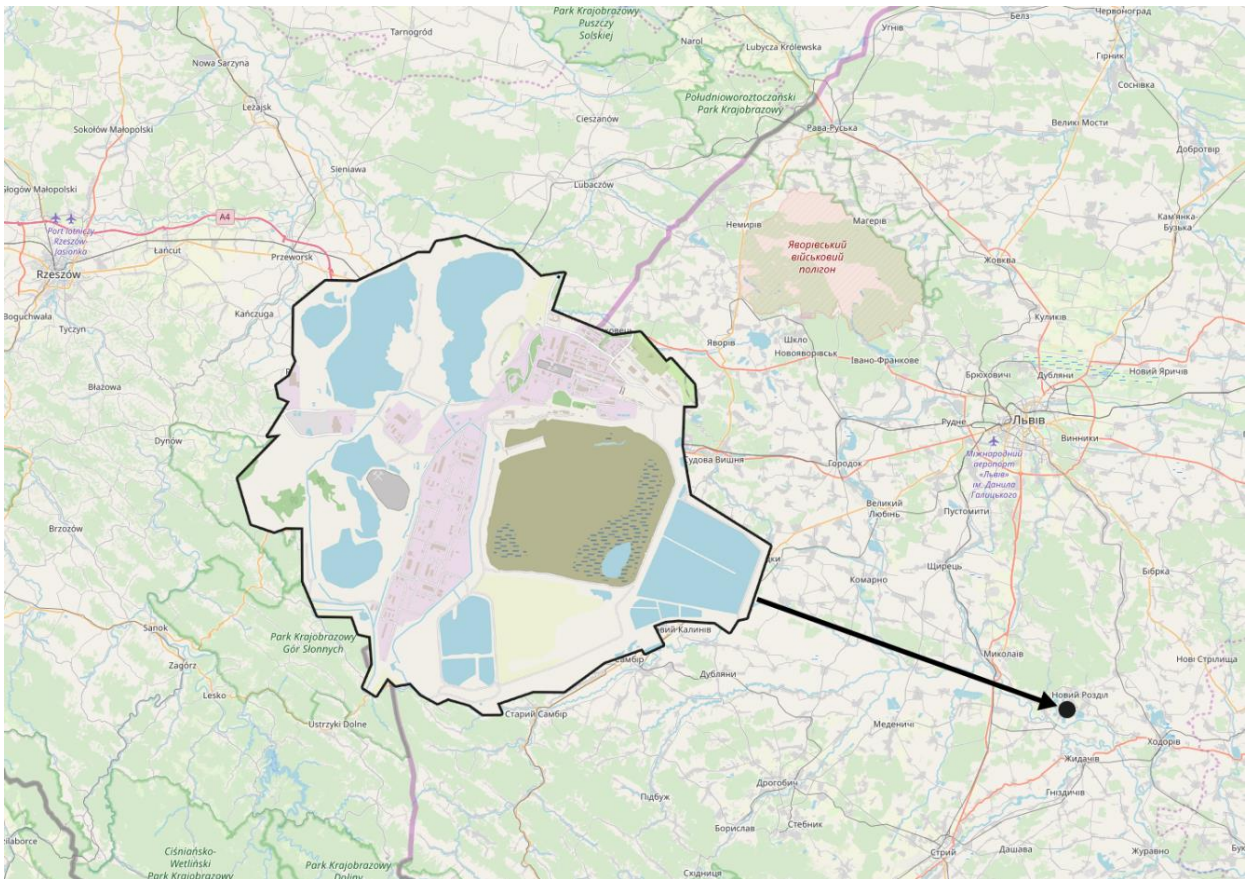
### 3.3. Результати експериментальних досліджень ґрунтів

Місце відбору проб має велике значення для достовірності і точності результатів дослідження. У табл. 3.3 показано географічні координати точок відбору проб (рис. 3.1). Результати вимірювань отримано за різними показниками, зокрема, проаналізовано такі елементи, як: Стронцій, Манган, Цинк, Плюмбум, Арсен. Відбір проб ґрунтів здійснювали на відстані від 1 до 20 м від джерела забруднення: майданчика з гудронами, відвалу фосфогіпсу, хвостосховища №1.

Табл. 3.3.

#### Географічні координати точок відбору проб

<i>Місце</i>	<i>Широта</i>	<i>Довгота</i>
<i>1 м гудрони</i>	49°27'30,00"Пн	24° 6'15,41"С
<i>5 м гудрони</i>	49°27'30,41"Пн	24° 6'15,56"С
<i>10 м гудрони</i>	49°27'30,64"Пн	24° 6'15,55"С
<i>20 м гудрони</i>	49°27'30,87"Пн	24° 6'15,57"С
<i>1 м фосфогіпс</i>	49°26'55,94"Пн	24° 5'42,98"С
<i>5 м фосфогіпс</i>	49°26'55,69"Пн	24° 5'43,64"С
<i>10 м фосфогіпс</i>	49°26'55,21"Пн	24° 5'44,84"С
<i>20 м фосфогіпс</i>	49°26'54,93"Пн	24° 5'45,70"С
<i>1 м хвостосховище</i>	49°27'24,07"Пн	24° 7'14,70"С
<i>5 м хвостосховище</i>	49°27'24,30"Пн	24° 7'14,82"С
<i>10 м хвостосховище</i>	49°27'24,61"Пн	24° 7'15,09"С
<i>20 м хвостосховище</i>	49°27'25,24"Пн	24° 7'15,39"С



**Рис. 3.1.** Місце розташування досліджуваної території. Джерело: OpenStreetMap

### **3.3.1. Вміст важких металів біля відвалу фосфогіпсу**

Утилізація, перероблення і знешкодження відходів багатотоннажних виробництв є важливими проблемами відповідних галузей промисловості. Вони набувають екологічного змісту державного рівня, коли сотні тисяч тонн твердих відходів, забруднених токсичними речовинами, заскладаються у відвалах [165].

Виробництво і застосування фосфорних добрив продукує значні об'єми відвалів фосфогіпсу – твердих відходів, які містять важкі метали, зокрема, кадмій та свинець.

Майданчик відвалу фосфогіпсу знаходиться в східній частині Центрального кар'єру, засипаного розкривними породами під час розроблення північного кар'єру. Потужність насипних ґрунтів складає від 2 м до 30 м. У

геологічній будові площадки, крім насипних ґрунтів, беруть участь четвертинні відклади техногенного походження та неогенові гіпси.

Насипні ґрунти I-го шару – глиби вапняку сірого, міцного, нерідко з глинистим заповненням до 20%. Потужність шару – від 2 м до 6 м.

Насипні ґрунти II-го шару – обломки вапняку з глиною і мергелем, де-не-де з прошарками хвостів плавок, будівельного сміття і бетонних відходів. Потужність шару – від 2,2 м до 13,3 м.

Насипні ґрунти III-го шару – глини з обломками мергелю і вапняку. Потужність шару – від 20 м до 30 м.

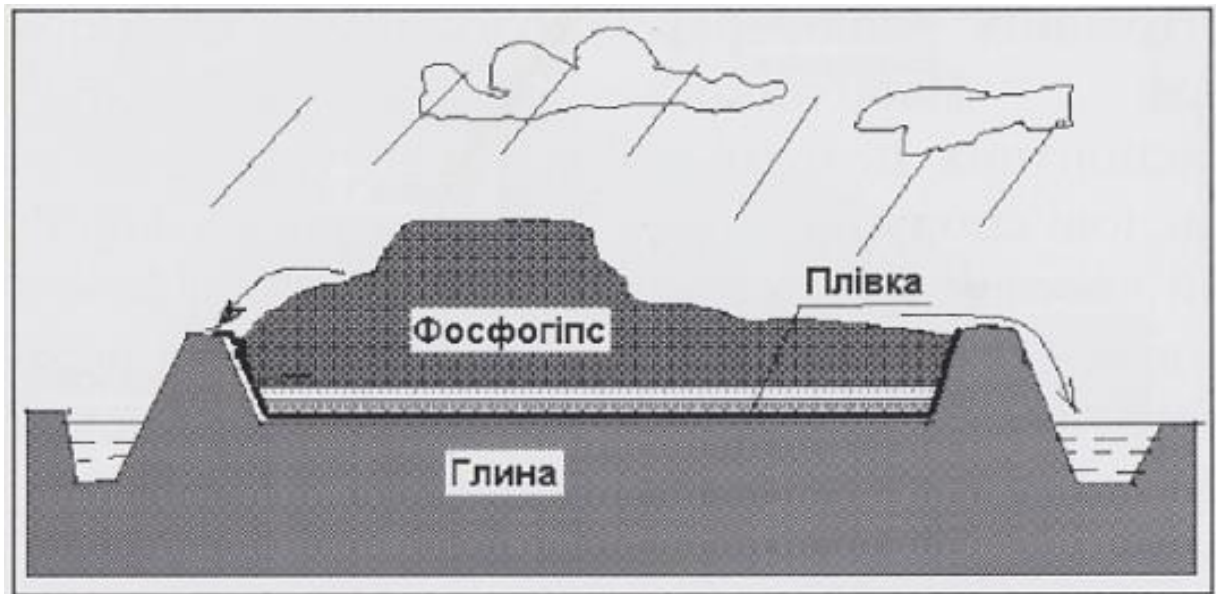
Ґрунтово-рослинний IV-ий шар зустрічається тільки на майданчику водозбірного басейну під насипними ґрунтами II-го шару. Представлені суглинком м'якопластичним темно-сірим. Потужність шару 0,4 м.

Суглинок тугопластичний V-го шару – міцний, зеленувато-сірий і жовтувато-сірий, слюдяний. Потужність шару – від 1,4 м до 3 м, коефіцієнт фільтрації – 0,01 м/добу.

Суглинок VI-го шару – м'якопластичний, середньої міцності, голубувато-сірий. Потужність шару від 1,5 м до 3,5 м, коефіцієнт фільтрації – 0,01 м/добу.

Глина VII-го шару – дуже міцна, тугопластична до напівтвердої, зеленувато-сіра, комковата. Глини шару належать до набухлих ґрунтів. Коефіцієнт фільтрації – 0,001 м/добу. Підшва глин залягає на 230-233 м.

Підприємством виконано гідроізоляцію відвалу фосфогіпсу з влаштуванням за контуром вапнякового нейтралізуювального шару. У результаті мало бути попереджено потрапляння кислих вод з відвалу фосфогіпсу в р. Дністер. Але, незважаючи на гідроізоляцію днищ відвалів, тривалий термін зберігання твердих відходів виробництва, зокрема фосфогіпсу, призводить до проникнення токсичних речовин у ґрунт і їх фільтрації, формуючи з часом ареали забруднень. Дощі розчиняють гіпс і вимивають з нього кислоти і токсичні сполуки (рис. 3.2).



**Рис. 3.2.** Схема будови відвалу фосфогіпсу

Потрапляючи в ґрунт, забруднювальні речовини викликають або позитивні зміни, або негативні наслідки, чим порушують хімічну рівновагу природної екосистеми. Забруднений ґрунт втрачає чітку структуру та характеризується зменшенням загальної його щільності. Все це призводить до зниження водопроникності ґрунту, різкого погіршення водно-повітряного режиму.

Нині практично відсутні методи прогнозування можливих забруднень навколишнього середовища та моделювання процесів міграції важких металів у ґрунтах.

У зв'язку з цим перспективним і актуальним напрямком досліджень для України є розроблення заходів захисту ґрунтів від негативного впливу токсичних сполук, що містяться у відвалах [166].

У даних спостерігається перевищення Фосфору (P) у 8,25 разів (табл. 3.4) [148].

**Проба ґрунту, розташованого біля відвалу фосфогіпсу**

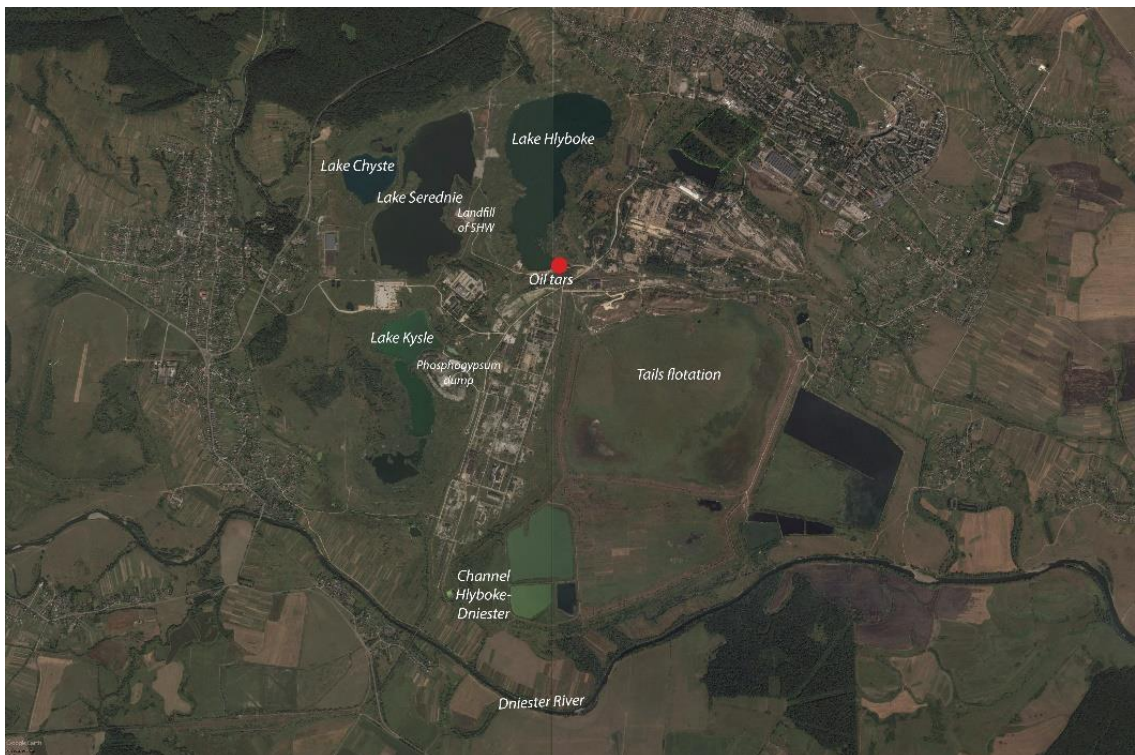
№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	ГДК чи фон	Результат вимірювання	Перевищення
1	Кадмій	мг/кг	0,68	0,51	
2	Кобальт	мг/кг	5	3,44	
3	Купрум	мг/кг	3	2,01	
4	Нікол	мг/кг	4	0,97	
5	Плюмбум	мг/кг	6	5,16	
6	Фосфор, у перерахунку на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	мг/кг	31,08	<b>256,44</b>	<b>8,25</b>
7	Хром	мг/кг	6	1,35	
8	Цинк	мг/кг	23	16,78	

**3.3.2. Вміст важких металів на території біля гудронів**

На проммайданчику Роздільського ДГХП "Сірка" (рис. 3.3) міститься 17,195 тис. т модифікатора типу "МГ". За незадовільного зберігання модифікатора на даній площадці є пряма загроза попадання забруднених дощових стоків в оз. Глибоке, звідки з'єднувальним каналом можливе попадання в р. Дністер з усіма негативними наслідками, включаючи транскордонні забруднення. За документами з Угорщини в Україну імпортували понад 23 тис. т гудронів та залишків котлів малеїнового ангідриду. Відходи "нейтралізували", змішавши з глиною. Нами було відібрано проби ґрунтів між майданчиком з гудронами і оз. Середнім (рис. 3.4) [167].



**Рис. 3.3.** Місце зберігання гудронів на території  
Роздільського ДГХП "Сірка"



**Рис. 3.4.** Космознімок місця відбору проб



У даних спостерігається перевищення ГДК за Cd в 1,65 разів, Pb в 1,42 разів, неполярними вуглеводнями у 3,83 рази (табл. 3.5) [148, 167].

Табл. 3.5.

**Проба ґрунту біля майданчика з модифікатором**

№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	ГДК чи фон	Результат вимірювання	Перевищення
1	Кадмій	мг/кг	0,68	<b>1,12</b>	<b>1,65</b>
2	Кобальт	мг/кг	5	4,45	
3	Купрум	мг/кг	3	2,13	
4	Нікол	мг/кг	4	2,76	
5	Плюмбум	мг/кг	6	<b>8,49</b>	<b>1,42</b>
6	Нафто-продукти	мг/кг	245	<b>938</b>	<b>3,83</b>
7	Хром	мг/кг	6	1,26	
8	Цинк	мг/кг	23	15,67	

У першому півріччі 2016 р. відібрано проби ґрунту у місці розміщення гудронів та порівняно з результатами аналізу фонові проби та з рівнем ГДК (табл. 3.6) [168, 159, 165].

У вересні 2016 р. відібрано проби ґрунтів на відстані 1 м і 20 м від гудронів. На рис. 3.4 зображено космознімок місця відбору проб. У результаті аналізу виявлено, що вміст Стронцію дорівнює рівню ГДК (табл. 3.7) [148].

У 2018 р. проведено лабораторні дослідження відібраних проб ґрунту на північ від зберігання кислих гудронів на території Роздільського ДГХП "Сірка".

За результатами проведених аналізів виявлено перевищення норм відносно фону за неполярними вуглеводнями (нафтопродуктами) в 18,8 разів, Феруму в 6 разів, рухомими формами Цинку в 2,6 рази, Мангану в 2,2 рази, Плюмбуму в 8,8 разів та Хрому в 5,6 рази [148, 167].

Табл. 3.6.

## Результати моніторингу ґрунтів у місці розміщення гудронів

	Вміст важких металів (рухомі форми), мг/кг					
	<i>Купрум (Cu)</i>	<i>Цинк (Zn)</i>	<i>Плюмбум (Pb)</i>	<i>Хром (Cr)</i>	<i>Кадмій (Cd)</i>	<i>Нафто-продукти</i>
Проба ґрунту на Пн. від зберігання гудронів (через дорогу)	2,01	10,11	<b>16,22</b>	4,06	<b>1,5</b>	<b>1420</b>
Фон, проба ґрунту біля адмінкорпусу (парк)	0,36	4,15	<b>2,55</b>	0,37	0,32	<b>120</b>
ГДК	3	23	2	6	0,7	-

Табл. 3.7.

## Результати аналізу проб ґрунтів у місці розміщення гудронів

	Вміст важких металів, мг/кг								
	<i>Барій (Ba)</i>	<i>Манган (Mn)</i>	<i>Плюмбум (Pb)</i>	<i>Нікол (Ni)</i>	<i>Титан (Ti)</i>	<i>Купрум (Cu)</i>	<i>Літій (Li)</i>	<i>Цирконій (Zr)</i>	<i>Стронцій (Sr)</i>
Проба ґрунту на відстані 1 м	120	200	1	10	100	1,5	25	20	310
Проба ґрунту на відстані 20 м від гудронів	50	80	-	5	100	-	-	10	1000

### 3.3.3. Хімічний склад хвостів збагачення сірки

На підприємстві під час функціонування збагачувального комбінату акумулювано понад 85 млн т відходів збагачення сірчанних руд, які намиті чи відсипані у хвостосховищах №1 (65 млн т) та №2 (10 млн т), гідровідвалі №1 (7 млн т) та акумулювальному басейні (3 млн т).

Хвости флотації – мелений вапняк з домішками сірки, гіпсу і нерозчинних мінералів – кварцу, целестину, бариту та глинистих мінералів з ознаками скісної шаруватості із заглибленням від периферії до дна.

У будові хвостосховища відрізняють периферійну частину і ядро. В периферійній частині накопичувались алевритові фракції, а в ядрі – частинки розміром в тисячні долі міліметра та глинисті мінерали.

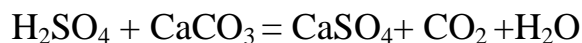
Мінеральний склад хвостів флотації визначено рентгенодифракційним методом. Характеристику мінерального складу відібраних проб хвостів флотації з хвостосховища №1 наведено у таблиці 3.8.

Табл. 3.8

**Мінеральний склад хвостів збагачення сірки з хвостосховища №1**

№	Місце відбору	Сірка, S, %	Кварц, SiO <sub>2</sub> , %	Кальцит, CaCO <sub>3</sub> , %	Гіпс, CaSO <sub>4</sub> , %	Целестин SrSO <sub>4</sub> , %
1	Конус намиву	до 5	до 5	85	до 5	до 5
2	Верхня товща	5-10	до 5	70	20	до 5
3	Нижня товща	до 5	до 5	80	до 5	5-10
4	Кірка на дні озера	5-10	до 5	50	30	до 5
5	Донні відкладення	до 5	до 5	65	20	до 5
6	Мул на дні озера	5-10	до 5	65	15	до 5

Як видно з таблиці 3.8, в донних відкладах міститься 6-8% сірки, а вміст сульфату кальцію досягає 30%. В поверхневих шарах хвостосховища №1 вміст сірки не перевищує 1%, а сульфату кальцію близько 15%. Це можна пояснити тим, що в минулому проводились скиди сірчаної кислоти з відвалу фосфогіпсу. Кислота реагує з вапняком по реакції:



В результаті в осад випадає гіпс.

Характеристику хімічного складу хвостів флотації з хвостосховища №1 наведено у таблиці 3.9.

Нині рівнинна денна поверхня хвостосховища вкрилась суцільним ґрунтово-рослинним шаром.

Табл. 3.9.

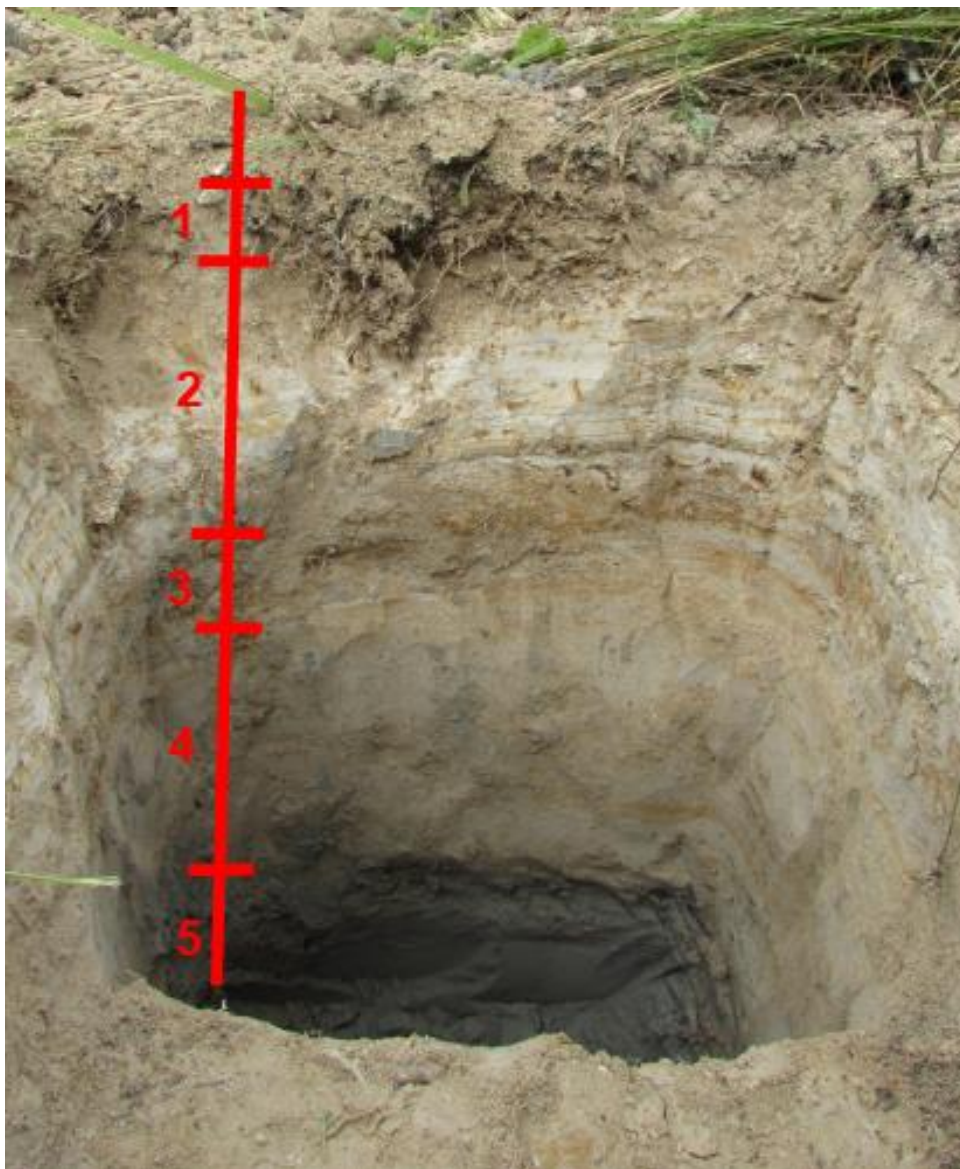
#### Хімічний склад хвостів збагачення сірки з хвостосховища №1

№ проби	Місце відбору	S	Ca	Mg	Na	Sr, %
1	Конус намиву	4,2	44,8	2,2	3,3	2,4
2	Верхня товща	7,8	38,4	2,4	7,5	2,5
3	Нижня товща	4,7	55,2	2,8	6,8	3,2
4	Кірка на дні озера	7,2	31,5	2,3	6,4	2,1
5	Донні відкладення	3,2	33,2	1,2	5,8	1,5
6	Мул на дні озера	8,7	34,5	1,87	3,5	1,2

У профілі заскладованих хвостів флотації у хвостосховищі № 1 виразно проявляється процес окислення і перерозподілення сірки. За час зберігання вміст кальциту в верхній частині буртів зменшився на 10%. Ці зміни проходять в основному на глибині до 0,5-0,7 м. Профіль виявив у розрізі (зверху вниз наступні прошарки:

- 1) рослинний ґрунт, 0,07 м;
- 2) зона окислення, представлена переважно кальцитом, розсипчаста, 0,4 м;
- 3) зона цементації, в якій хвости зцементовані гіпсом, напівскельна, 0,15 м;

- 4) перехідна зона, піскоподібна, 0,35 м;
- 5) зона незмінних хвостів: в'язкопластичні, сірі, глиноподібні, вологі хвости флотації із різким сірководневим запахом (рис. 3.17).



**Рис. 3.17.** Профіль хвостів флотації від денної поверхні на глибину 1 м у північній частині рівнинної частини хвостосховища № 1.

Хвостосховище №1, розташоване у південно-західній околиці с. Берездівці, де на площі 300 га заскладовано близько 65 млн т відходів, є найбільшим місцем зберігання хвостів флотації сірчаної руди. У північній частині хвостосховища розташовані так звані "вапнякові гори" – екскавовані на денну поверхню та зневоднені крупні фракції хвостів флотації. Східне

відгалуження "вапнякових гір" практично не зазнало морфологічних змін після їх відсипки: тут немає значних проявів ерозійного розмиву та сформувався суцільний ґрунтово-рослинний шар, не порушений техногенними змінами. Тоді як західне відгалуження "Вапнякових гір" більш як на 50 % розроблене нині закинутим кар'єром, звідки періодично за останні 20 років відвантажувалась продукція замовникам.

Площа східного відгалуження "вапнякових гір" складає 9 га. Максимальна відносна висота складає 22 м. Середня висота шару – 10 м. Залишковий об'єм крупноуламкових хвостів флотації в межах східного відгалуження складає 900 тис. м<sup>3</sup>.

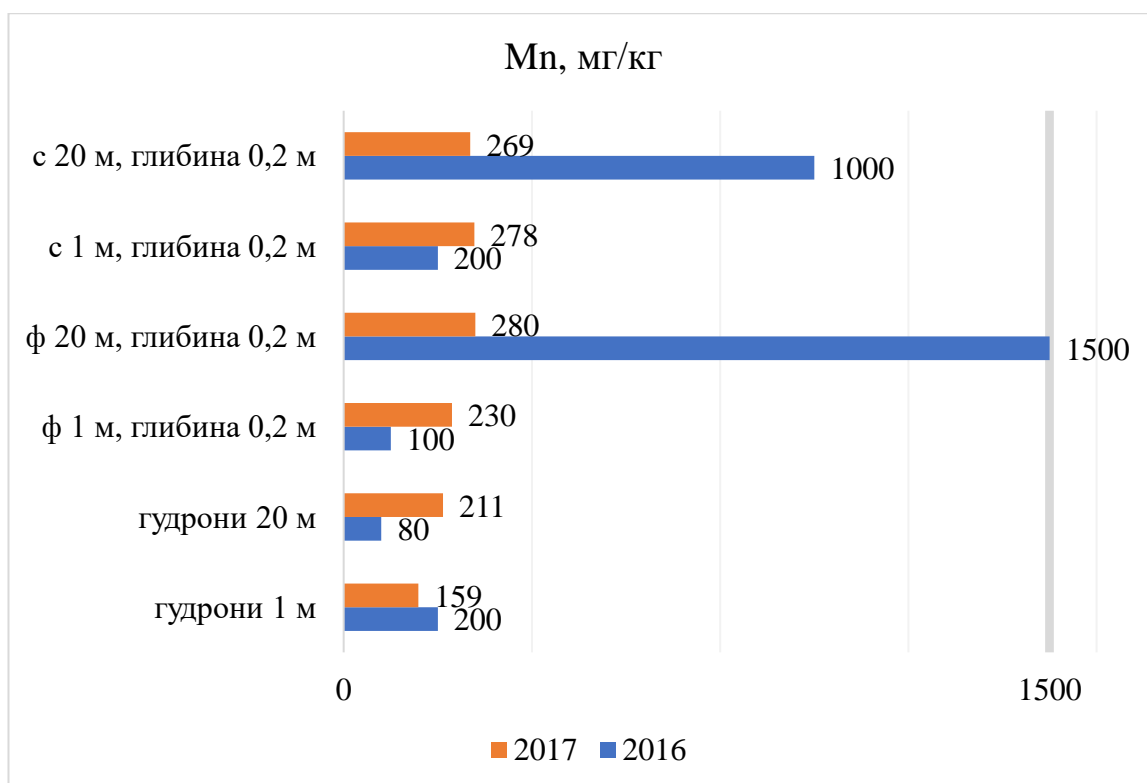
Площа західного відгалуження "Вапнякових гір" складає 10 га. Максимальна відносна висота складає 22 м. Середня висота шару – 15 м. Залишковий об'єм крупноуламкових хвостів флотації в межах західного відгалуження складає 1,5 млн. м<sup>3</sup>.

Отже, загальний залишковий об'єм крупноуламкових хвостів флотації в межах "Вапнякових гір" складає 2,4 млн м<sup>3</sup>.

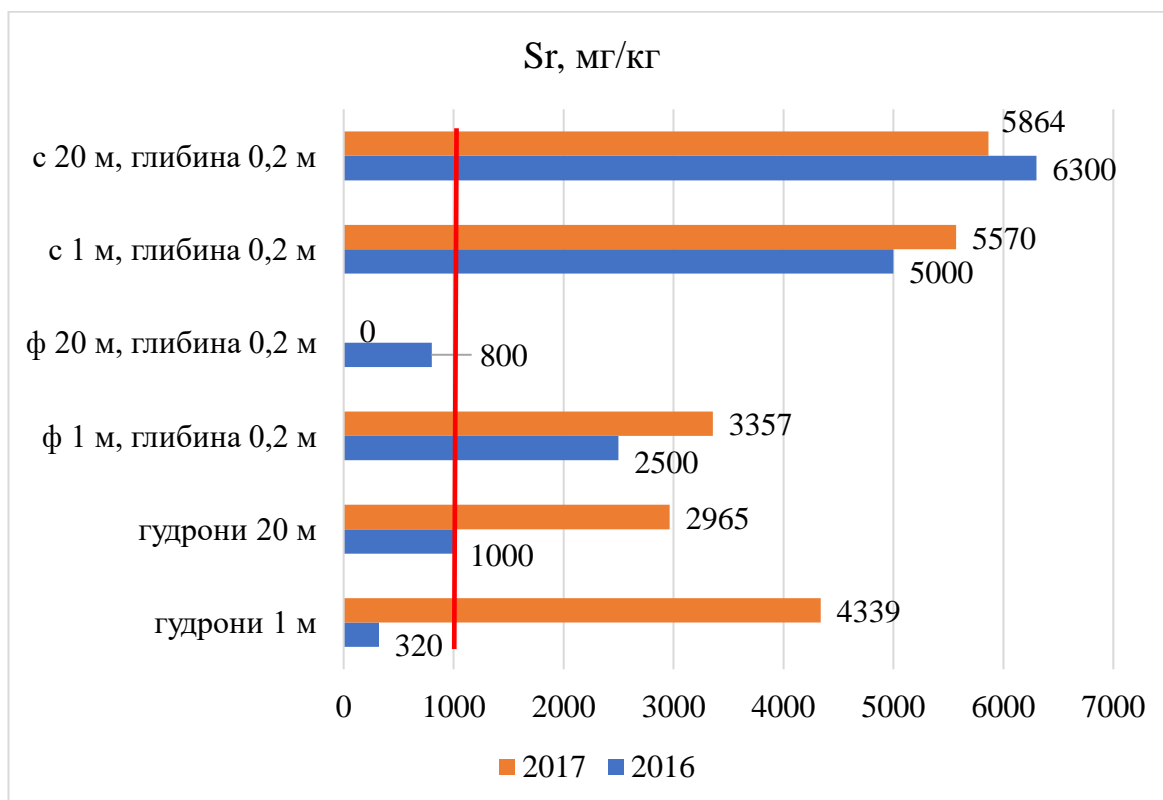
### **3.3.4. Динаміка зміни вмісту важких металів у ґрунтах**

Забруднення ґрунту є результатом господарської діяльності у минулому і нині. Оскільки, важливим є вміст важких металів у межах гранично допустимих концентрацій, зміна вмісту важких металів у ґрунтах представлено на рис. 3.5, 3.6. Вміст Мангану в ґрунті у 2016 р. майже досягнув ГДК (1500 мг/кг) біля відвалу фосфогіпсу на відстані 20 м і глибині 0,2 м [169, 148].

ГДК Стронцію в ґрунті становить 1000 мг/кг [148]. На території підприємства спостерігають значні перевищення ГДК (до 6 разів). З часом вміст Стронцію в ґрунті не зменшується [90, 169].

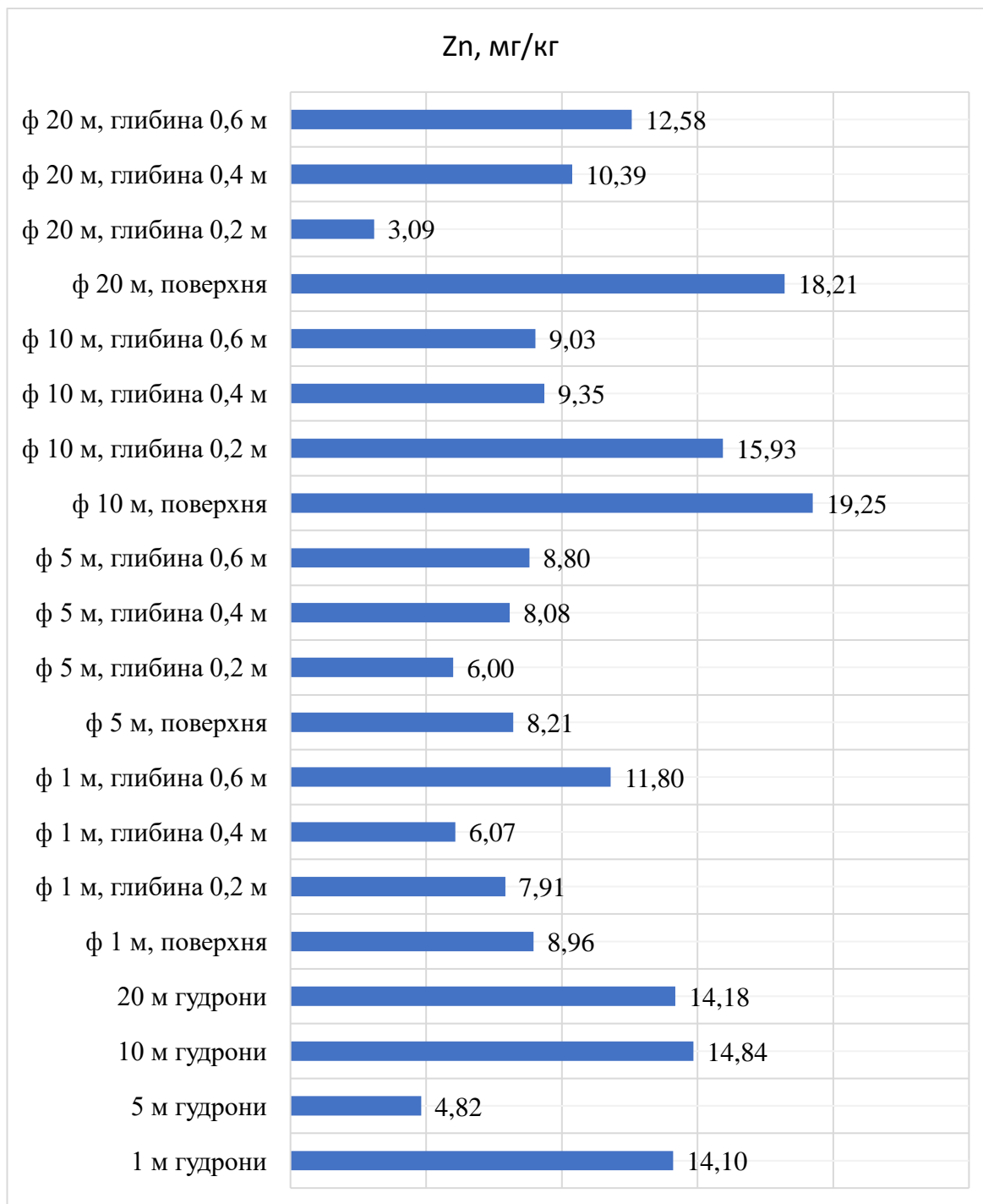


**Рис. 3.5.** Графік зміни вмісту Мангану в ґрунтах, де с – ґрунт біля хвостосховища №1, ф – ґрунт біля відвалу фосфогіпсу, гудрони – ґрунт біля майданчика з гудронами



**Рис. 3.6.** Графік зміни вмісту Стронцію в ґрунтах

У 2016 р. в пробах ґрунту Цинку не виявлено (рис. 3.7). Дані за 2017 р. (за Цинком) зображено на рис. 3.8, 3.9. ГДК Цинку становить 300 мг/кг. Перевищень не виявлено.



**Рис. 3.7.** Поширення Цинку в ґрунтах, 2017, де ф – ґрунт біля відвалу фосфогіпсу, гудрони – ґрунт біля майданчика з гудронами

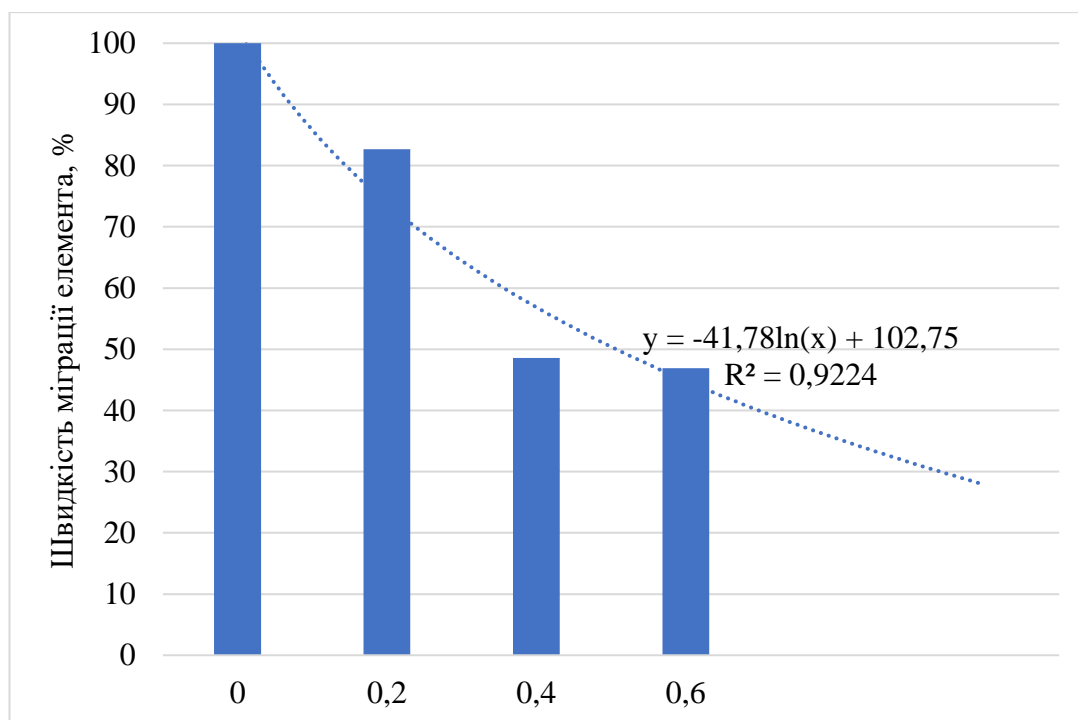


Швидкість міграції шкідливих речовин у ґрунтовому профілі – показник вертикальної міграції, який вимірюється глибиною проникнення хімічної речовини. Швидкість міграції Цинку в ґрунті зменшується за поліноміальною залежністю (3.2), величина вірогідності апроксимації найвища  $R^2 = 0,9224$ . Для порівняння за лінійною залежністю (3.3), величина вірогідності апроксимації становить  $R^2 = 0,9114$ , за експонентною залежністю  $R^2 = 0,9054$  (3.4) [169].

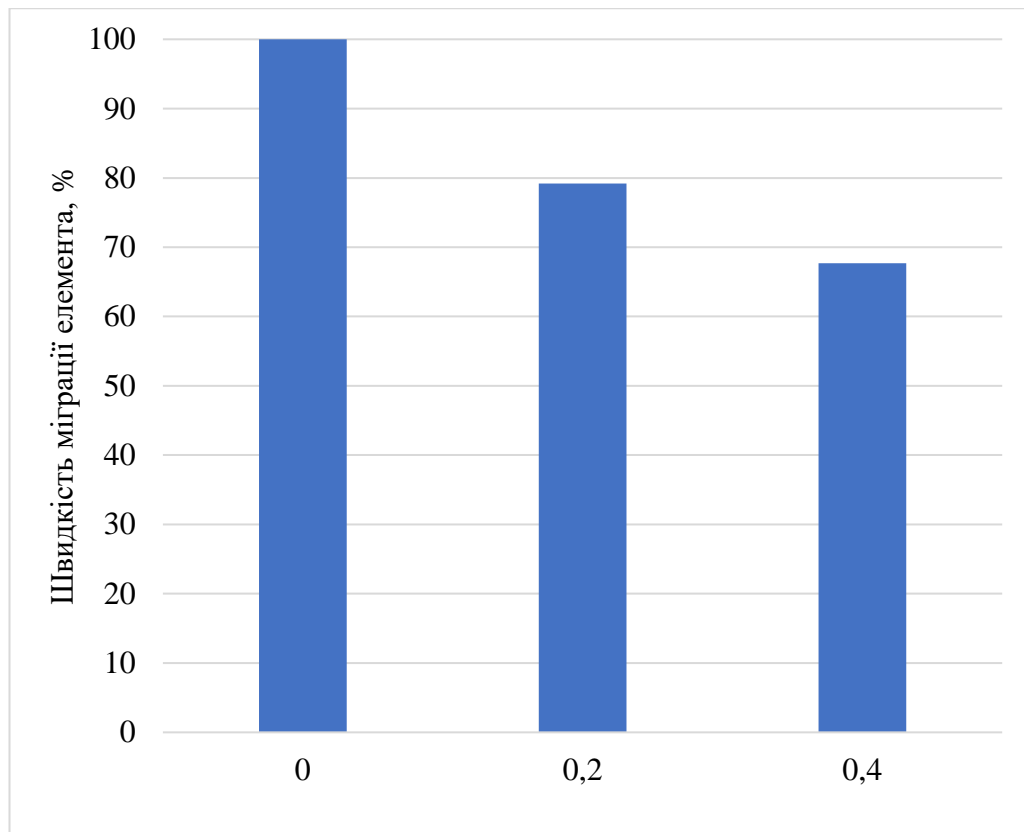
$$y = -41,78\ln(x) + 102,75 \quad (3.2)$$

$$y = -19,34x + 117,9 \quad (3.3)$$

$$y = 132,79e^{-0,28x} \quad (3.4)$$



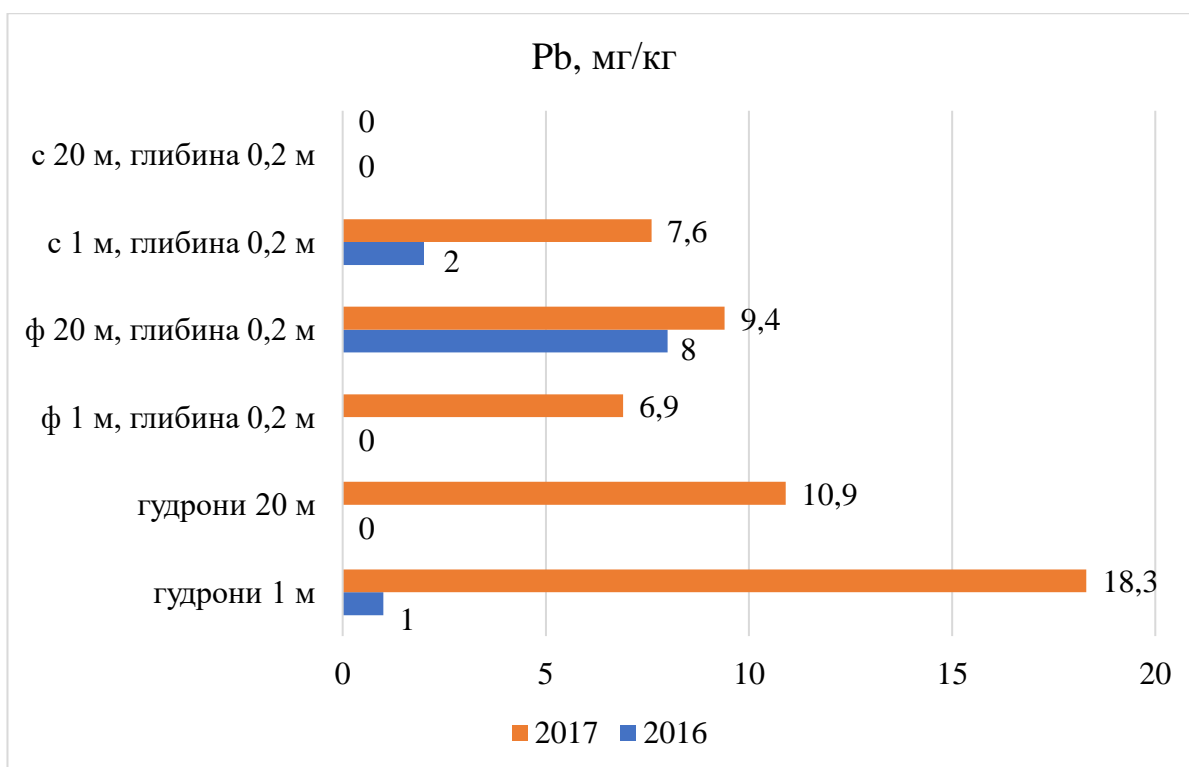
**Рис. 3.8.** Швидкість міграції Цинку в глибину на відстані 10 м від відвалу фосфогіпсу, 2017 р.



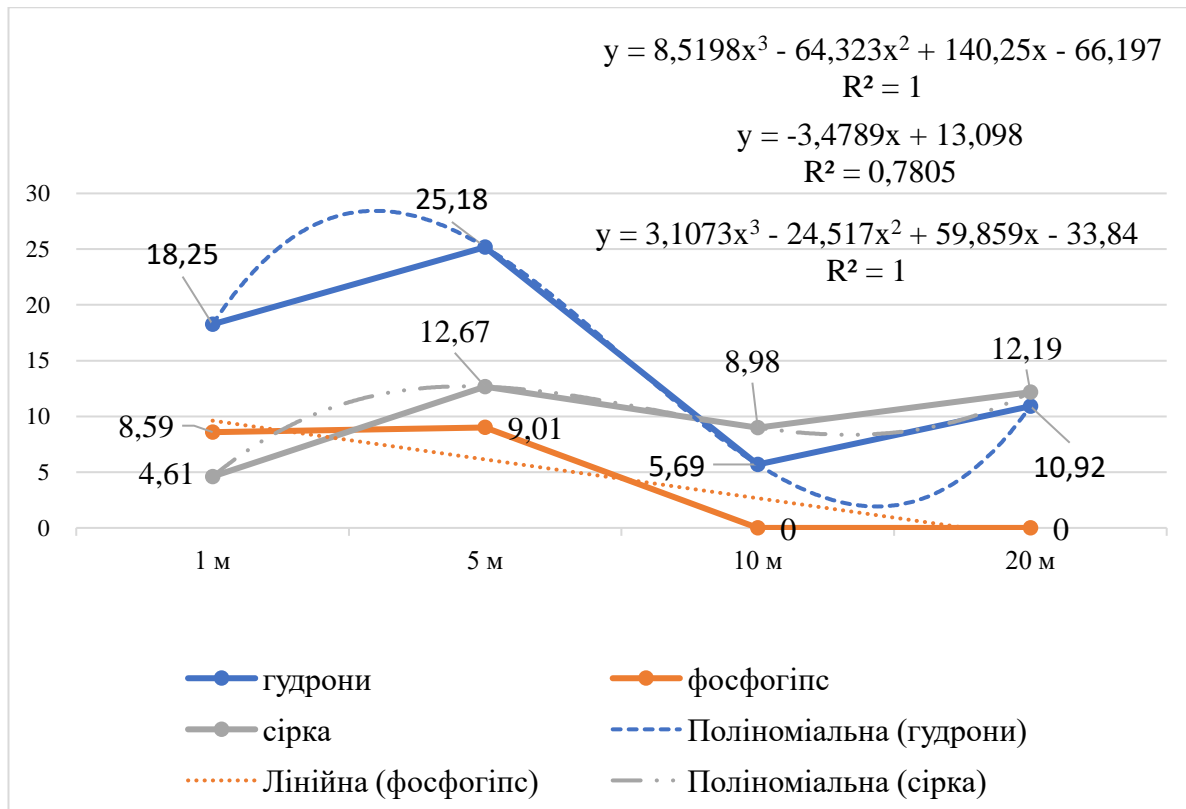
**Рис. 3.9.** Залежність швидкості міграції Цинку з глибиною на відстані 1 м від відвалу фосфогіпсу, 2017 р.

На рис. 3.10, 3.11 зображено динаміку зміни вмісту Плюмбуму в ґрунтах. ГДК Плюмбуму становить 30 мг/кг. Перевищення виявлено тільки в 2017 р. в точці відбору 5 м від відвалу фосфогіпсу на глибині 0,40 м. Вміст Плюмбуму в цій точці становить 54,37 мг/кг. На поверхні ґрунту спостерігається тенденція зниження вмісту Плюмбуму в залежності від відстані від відвалу фосфогіпсу [169]. Підвищення концентрації Плюмбуму в ґрунті на відстані 1 м у часовому проміжку 2016-2017 р. (рис. 3.10) може бути пов'язано з декількома причинами – міграцією елемента в ґрунті та забрудненням викидами з вантажних автомобілів, що їздять до сміттєзвалища.

Поширення Плюмбуму при найближчому значенні до  $R^2=1$  зображено поліноміальною залежністю, можна вважати, що вміст незалежної змінної та складової знижують точність використання побудованого рівняння для прогнозу (рис. 3.11). Тому є складним спрогнозувати поширення елемента на даній території.

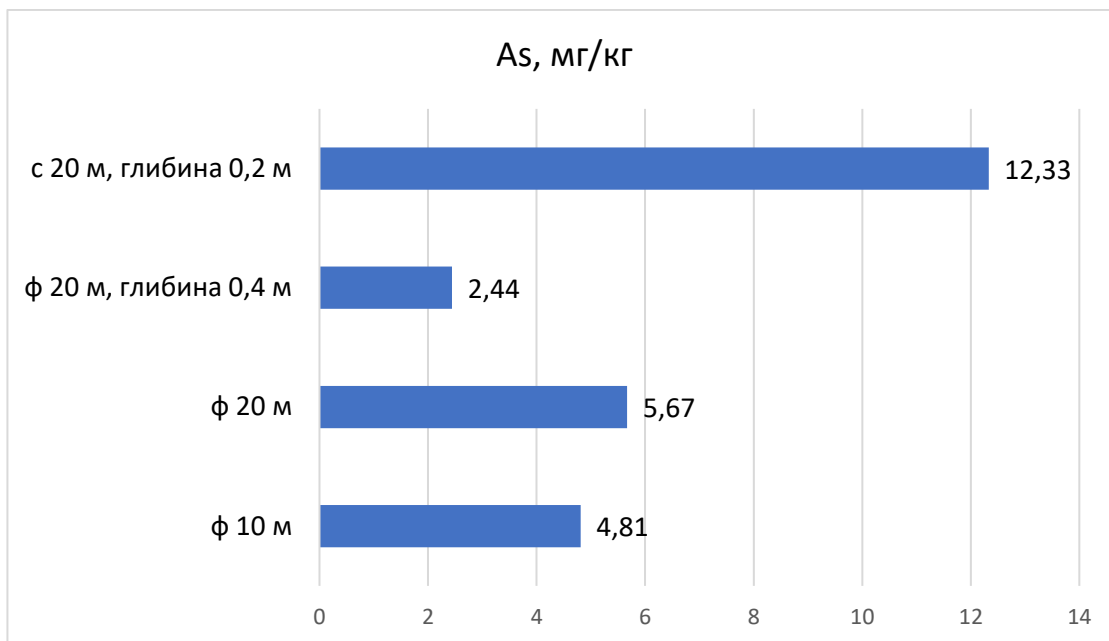


**Рис. 3.10.** Зміна вмісту Плюмбуму в ґрунтах, де відповідно с – ґрунт біля хвостосховища, ф – фосфогіпсу, гудрони –майданчика з гудронами



**Рис. 3.11.** Зміна вмісту свинцю в ґрунтах, 2017 р.

У 2016 р. у пробах ґрунту Арсену не виявлено, але в 2017 році він є (рис. 3.12). ГДК Арсену в ґрунті становить 2 мг/кг. Встановлено перевищення в 4 точках відбору проб [169].



**Рис. 3.12.** Поширення Арсену (мг/кг) в ґрунтах, 2017 р., де с – ґрунт біля хвостосховища, ф – ґрунт біля відвалу фосфогіпсу

Система моніторингу території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації дасть змогу підвищити рівень екологічної безпеки території підприємства і прилеглих до нього населених пунктів і вчасно відреагувати на несприятливі зміни.

### 3.4. Висновки до розділу 3

Головним джерелом антропогенного надходження важких металів на земну поверхню є промислові викиди гірничодобувної металургії та хімічної промисловості.

1. Зберігання гудронів на території Роздільського ДГХП "Сірка" є порушенням законодавства України. Разом з цим, це негативно впливає на довкілля (ґрунт, воду) і порушує екологічну безпеку території.

Встановлено, що гудрони негативно впливають на довкілля – ґрунти, вода. За результатами проведених аналізів виявлено перевищення норм відносно фону за неполярними вуглеводнями (нафтопродуктами) в 18,8 разів, заліза загального в 6 разів, рухомими формами цинку в 2,6 рази, марганцю в 2,2 рази, свинцю в 8,8 разів та хрому в 5,6 рази. Крім гудронів, на території колишньої діяльності Роздільського ДГХП "Сірка" знаходяться інші промислові (фосфогіпс, відпрацьована сірка) та навіть побутові відходи (полігон ПВ). Це все призводить до порушення екологічної рівноваги

2. Експериментально отримано показники забруднення важкими металами ґрунтового середовища на території Роздільського ДГХП "Сірка" з 2016 до 2017 рр. Встановлено перевищення ГДК за Стронцієм (у 6 разів), Плюмбумом (у 1,5 разів), Арсеном (у 6 разів).

Результати розділу 3 опубліковано у наукових працях [157], [161], [165], [166], [167], [169].

## **РОЗДІЛ 4**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА У МЕЖАХ ВПЛИВУ ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ**

Для покращення стану екологічної безпеки велике значення має дослідження забруднення поверхневих та підземних вод на території Роздільського ДГХП "Сірка". У цьому розділі виконано експериментальні дослідження якості води на території підприємства.

#### **4.1. Експериментальне оцінювання забруднення водного середовища на території Роздільського ДГХП "Сірка"**

Північний кар'єр розділено на три частини. На заході розташоване озеро Чисте, яке утворилось у відокремленій частині кар'єру. Абсолютна відмітка води в озері становить 270 м, глибина озера 17 м. Воно живиться атмосферними опадами та джерелами, які витікають на високому західному березі. В дощові періоди вода із озера витікає в річку Колодницю.

Озеро Середнє займає найбільшу площу. Тут міститься 10,6 млн м<sup>3</sup> тонких фракцій відходів збагачення сірчаної руди. Товщина шару відходів 33 м. Потім виїмку заповнили оборотні води й атмосферні опади, утворилось озеро глибиною до 16 м. Об'єм води 9,9 млн м<sup>3</sup>, абсолютна відмітка рівня води близько 270,5 м, площа 93,5 га. Щоб покращити ситуацію на озері, потрібно понизити рівень води до 265 м, щоб зменшити глибину озера до 7-10 м. За такої глибини сонячні промені досягають дна водойми і на дні активно розвиваються водорості, які служать кормом для риби.

Східну частину кар'єру затоплено до відмітки 253 м, тут утворилося озеро Глибоке. Водозбірна площа озера 280 га, площа 82 га. Його назва свідчить про велику глибину, яка досягає 40 м. Береги озера круті і обривисті,

тому для купання воно небезпечне. Тільки на невеликих ділянках можна штучно створити мілководдя.

Для витоку води з озер у річку Дністер є канал довжиною 3 км.

Атмосферні опади з площі водозбору хвостосховища накопичуються у пониженнях рельєфу у західній та східній частині, а звідти інфільтруються крізь дамбу хвостосховища та стікають у відстійник та р. Дністер.

Хвостосховище №2 створено у залишковій виїмці Північного кар'єру. На дні залягають гіпсоангідрити, як перекриті відсипкою та утрамбуванням шару глини. Борти, в яких відслонювались вапняки, також присипані глиною. Вище у бортах відслонюються корінні виходи глин та мергелів або внутрішні відвали.

Результати гідрохімічного моніторингу Роздільських озер: Середнього, Глибокого, Чистого та Кислого, виконаних у 2015 р. свідчать, що у поверхневому шарі вод всіх Роздільських озер та на витоку з озера Глибоке зафіксовано перевищення нормативних показників за мінералізацією та сульфатах, на озері Середньому – і по фосфатах. За результатами хімічного аналізу вод, що течуть каналом з озера Глибоке у Дністер, встановлено, що рівень мінералізації води перевищив ГДК у 2,4 рази, сульфатів – у 3 рази. У цьому році не вживалось жодних заходів щодо недопущення забруднення р. Дністер.

При цьому перестав здійснюватися моніторинг за вмістом Стронцію і Фтору, що був передбачений програмою спостережень у попередні роки. Не здійснювався контроль за станом підземних вод у спостережних свердловинах та п'єзометрах на дамбах хвостосховищ. Мережу спостережних свердловин майже повністю знищено, відсутні п'єзометри.

Як показали аналізи води, відібраної в липні 2016 року, основним джерелом забруднення на промисловому майданчику є: склад побутових відходів державного підприємства "Спецсервіс", відкритий склад комової сірки ВАТ "Новороздільський завод фунгіцидів", склад побутових відходів м. Новий Розділ, порушені землі ВАТ "Новороздільський завод складних

мінеральних добрив". Позитивні зміни можна було отримати під час реалізації проекту щодо ліквідації сірчаного виробництва Роздільського ДГХП "Сірка", однак, з 2012 р. бюджетом не передбачались кошти на його втілення. Наразі відсутні будь-які пропозиції щодо вирішення проблеми з міським полігоном ПВ, ліквідації складу кислих гудронів та складу сірки [170].

Актуальним завданням для підприємства на сьогодні є вирішення проблем використання озер та водоперепускних споруд, джерел фінансування для їх утримання, нагляду та контролю.

Оцінювання показників якості води дає змогу встановити відповідність чи невідповідність води певного водного об'єкта вимогам, які висуваються тими чи іншими водокористувачами. Критерієм оцінки допустимості вмісту речовин у воді є гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у них, а також їх загальносанітарна характеристика. Вимоги до якості вод у водних об'єктах, які використовуються для господарсько-питних, культурно-побутових і рибогосподарських потреб подано у [171].

ГДК шкідливих речовин у водних об'єктах, які використовуються для господарсько-питних і культурно-побутових потреб, визначено більше, ніж для 1000 інгредієнтів; для рибогосподарських – більше, ніж для 200 (табл. 4.1). Але ця кількість інгредієнтів не охоплює всі забруднювальні речовини антропогенного походження, яких за орієнтовними даними є не менше 5-6 тис.

Для інтегрального оцінювання якості води водних об'єктів з екологічних позицій розроблено низку методик, які враховують взаємний вплив всіх визначених у воді компонентів через розрахунки індексів забруднення води. В Україні діє "Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями" [172], в якій виділяють 5 класів і 7 категорій якості води за ступенем чистоти (забруднення):

- I клас з однією категорією (1) – дуже чисті;
- II клас – чисті, з двома категоріями: чисті (2) і досить чисті (3);
- III клас – забруднені, з двома категоріями: слабо забруднені (4) і помірно забруднені (5);



- IV клас з однією категорією (6) – брудні;
- V клас з однією категорією (7) – дуже брудні.

Табл. 4.1.

**Класи небезпечності різних хімічних елементів, які входять до складу водних об'єктів**

<b>Клас</b>	<b>Назва хімічних елементів та речовин</b>
<b>I</b>	Миш'як, кадмій, ртуть, свинець, селен, цинк, фтор
<b>II</b>	Бор, кобальт, нікель, молібден, мідь, сурма, хром, кремній, бензол, дихлоретан, натрій, нітрити
<b>III</b>	Барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, залізо
<b>IV</b>	Капролактамі, нафтопродукти, фенол

Система екологічної класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв України містить дві супідрядні класифікації, а саме: за біологічними показниками та за фізико-хімічними і хімічними показниками. До комплексу показників екологічної класифікації якості поверхневих вод належать загальні і специфічні показники. Загальні показники характеризують сольовий склад і трофо-сапробність вод (еколого-санітарні), які властиві водним екосистемам інгредієнти, концентрація яких може змінюватись під впливом господарської діяльності. Специфічні показники характеризують вміст у воді забруднювальних речовин токсичної і радіаційної дії.

На рис. 4.1 зображено космознімок місця відбору проб води у 2014 р., де:

- 1 – р. Дністер, с. Березина, вище скидів Роздільського ДГХП "Сірка";
- 2 – канал (оз. Глибоке – Дністер, біля гудронів);
- 3 – канал (оз. Глибоке – Дністер), 30 м після злиття р. Сірчанки та каналу, скид в р. Дністер;
- 4 – канал відходу дощових вод (східний канал), скид в р. Дністер;
- 5 – р. Дністер, 200 м нижче скиду двох каналів з Роздільського ДГХП "Сірка".

На місці Роздільського Північного кар'єру створено каскад із озер Чистого, Середнього та Глибокого. Площа озера Чистого – 10 га, глибина – 15 м, площа озера Середнього – 45 га, глибина – 12 м. Озеро Глибоке має глибину 30 м, площа озера – 82 га. Для витоку води з озер у річку Дністер використовують канал довжиною 3 км [173].



**Рис. 4.1.** Космознімок місця відбору проб води

У табл. 4.2 наведено класифікацію якості відібраних проб води за показниками сольового складу і розраховано індекс показників сольового складу, який розраховано як середньоарифметичне окремих групових індексів.

Аналогічно за методикою [172, 174] визначають індекси хімічних трофо-сапробіологічних та специфічних показників токсичної та радіаційної дії. Тобто, наприклад, індекс показників сольового складу буде рівним середньому арифметичному індексу показників мінералізації, питомої

електропровідності, хлоридів та сульфатів. Для проби 1 індекс показників сольового складу визначається за формулою (4.2):

$$I_{CCсеред} = (I_M + I_{PE} + I_X + I_C) / 4 = (4 + 5 + 6 + 4) / 4 = 4,75 \quad (4.1)$$

Табл. 4.2.

**Класифікація якості поверхневих вод за показниками сольового складу**

Параметри, класи та категорії якості води	Показник	1	2	3	4	5
<i>Величина</i>	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	614,1 1	1742,86	520,52	1652,95	527,1
<i>Клас якості води</i>		III	V	III	IV	III
<i>Категорія якості води</i>		4	7	4	6	4
<i>Величина</i>	Питома електропровідність, μS	809	2740	650	3450	826
<i>Клас якості води</i>		III	V	III	V	III
<i>Категорія якості води</i>		5	7	4	7	5
<i>Величина</i>	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	63,81	106,35	14,18	202,06	63,81
<i>Клас якості води</i>		IV	V	III	V	IV
<i>Категорія якості води</i>		6	7	4	7	6
<i>Величина</i>	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	91,97	1017,84	75,5	925,87	35,6
<i>Клас якості води</i>		III	V	III	V	I
<i>Категорія якості води</i>		4	7	4	7	1
<b>Індекс показників сольового складу</b>		<b>4,75</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>6,75</b>	<b>4</b>

Визначено індекс хімічних трофо-сапробіологічних показників в різних точках відбору проб води за такими показниками: завислі речовини, рН, азот амонійний, фосфор фосфатів, БСК<sub>5</sub> (табл. 4.3).

Індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії розраховано за такими показниками: Ферум, Купрум, Цинк, Свинець, Хром, Манган, нафтопродукти, СПАР (табл. 4.4).

Значення гідрохімічного індексу якості води визначається, як (4.2):

$$I_{X\text{серед.}} = \left( \sum_{i=1}^N \delta_i I_{i\text{серед.}} \right) / \left( \sum_{i=1}^N \delta_i \right), \quad (4.2)$$

де  $I_{1\text{серед.}}$  ( $=I_{C\text{серед.}}$ ) – індекс показників сольового складу;

$I_{2\text{серед.}}$  ( $=I_{T\text{серед.}}$ ) – індекс трофо-сапробіологічних показників;

$I_{3\text{серед.}}$  ( $=I_{T\text{серед.}}$ ) – індекс показників вмісту специфічних речовин;

$N$  – кількість індексів, що враховують під час обчислення ( $=1 \dots 3$ ); якщо  $N < 3$ , оцінка може вважатися лише орієнтовною.

Табл. 4.3.

### Класифікація якості поверхневих вод за хімічними трофо-сапробіологічними критеріями

Параметри, класи та категорії якості води	Показник	1	2	3	4	5
Величина	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	40	30	35	20	40
Клас якості води		III	III	III	II	III
Категорія якості води		5	4	5	3	5
Величина	pH	7,26	7,06	6,66	4,07	7,35
Клас якості води		I	I	II	V	I
Категорія якості води		1	1	3	7	1
Величина	Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	0,093	0,19	0,27	19,1	0,21
Клас якості води		I	II	II	V	II
Категорія якості води		1	2	3	7	3
Величина	Фосфор фосфатів, мг P/дм <sup>3</sup>	0,1	0	6	0,056	0,61
Клас якості води		III	I	V	III	III
Категорія якості води		4	1	7	4	5
Величина	БСК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	4,2	3,6	4,4	85,3	5,2
Клас якості води		III	III	III	V	III
Категорія якості води		5	4	5	7	5
<b>Індекс хімічних трофо-сапробіологічних показників</b>		<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>4,6</b>	<b>5,6</b>	<b>3,8</b>

За різною хімічною класифікацією водні об'єкти досліджуваної території належать до різних класів якості вод, а саме:

- за мінералізацією та електропровідністю – до 3 та 5 класів;
- за вмістом сульфатів – до 2, 3, 5 класів;
- за вмістом хлоридів – до 3, 4, 5 класів;
- за гідрофізичними і заг. гідрохімічними показниками – до 1, 2, 5 класів;
- за вмістом азоту – до 1, 2, 5 класів;
- за вмістом органічних речовин – до 3, 5 класів;
- за вмістом специфічних речовин токсичної та радіаційної дії – до 2, 3, 4 класів.

Табл. 4.4.

**Класифікація якості поверхневих вод за показниками токсичної та радіаційної дії**

<b>Параметри, класи та категорії якості води</b>	<b>Показник, мкг/дм<sup>3</sup></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<i>Величина</i>	Ферум	420	170	280	700	270
<i>Клас якості води</i>		III	III	III	III	III
<i>Категорія якості води</i>		4	4	4	5	4
<i>Величина</i>	Купрум	10	27,4	8,2	48	10
<i>Клас якості води</i>		III	IV	III	IV	III
<i>Категорія якості води</i>		4	6	4	6	4
<i>Величина</i>	Цинк	3	29	23,8	158,3	5,6
<i>Клас якості води</i>		I	III	III	IV	I
<i>Категорія якості води</i>		1	4	4	6	1
<i>Величина</i>	Плюмбум	2	82,1	8,7	11	1,2
<i>Клас якості води</i>		II	IV	II	III	I
<i>Категорія якості води</i>		2	6	3	4	1
<i>Величина</i>	Хром	2,5	26	8,5	29	6,8
<i>Клас якості води</i>		II	IV	III	IV	III
<i>Категорія якості води</i>		2	6	4	6	4
<i>Величина</i>	Манган	91,7	129,3	113	1080,3	102
<i>Клас якості води</i>		III	III	III	IV	III
<i>Категорія якості води</i>		4	5	5	6	5
<i>Величина</i>	Нафтопродукти	12	14	12	18	11
<i>Клас якості води</i>		II	II	II	II	II
<i>Категорія якості води</i>		2	2	2	2	2
<i>Величина</i>	СПАР	12	0	0	0	0
<i>Клас якості води</i>		II	I	I	I	I
<i>Категорія якості води</i>		3	1	1	1	1
<b>Індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії</b>		<b>2,75</b>	<b>4,25</b>	<b>3,75</b>	<b>4,5</b>	<b>2,75</b>

Значення гідрохімічного індексу для точки 1 – 3,57; точки 2 – 4,55; точки 3 – 4,12; точки 4 – 5,62; точки 5 – 3,52.

Водні об'єкти Роздільського ДГХП "Сірка" за гідрохімічним індексом належать до вод із задовільним (р. Дністер вище і нижче скидів підприємства), поганим (канал оз. Глибоке – Дністер) і дуже поганим (канал відходу дощових вод) екологічним станом.

На рис. 4.2 зображено космоснімок місця відбору проб води у 2017 р. Проби відбиралися в озерах, створених на місці кар'єрів (оз. Чисте, оз. Середнє, оз. Глибоке, оз. Кисле) та в каналі оз. Глибоке – р. Дністер.

Результати вимірювань води з оз. Глибоке та каналу оз. Глибоке – р. Дністер за 2017 р. порівняно з результатами 2014 р., отримано за такими показниками: водневий показник (рН), сульфати, хлориди, мінералізація, азот амонійний, нітрат-іони, фосфати.

Вміст іонів водню у природних водах визначається в основному кількісним співвідношенням концентрацій вугільної кислоти та її іонів. рН води – один із найважливіших показників якості вод. Концентрація іонів водню має велике значення для хімічних і біологічних процесів, що відбуваються в природних водах. Від значення рН залежить розвиток і життєдіяльність водяних рослин, сталість різноманітних форм міграції елементів, агресивна дія води на метали і бетон. рН води також впливає на процеси перетворення різноманітних форм біогенних елементів, змінює токсичність забруднювальних речовин. Норми рН становлять від 6,5 до 8,5.

Природні води в залежності від рН раціонально поділяти на сім груп: сильно кислі води –  $\text{pH} < 3$  (результат гідролізу солей важких металів (шахтні і рудні води)); кислі води –  $\text{pH} = 3,5$  (надходження у воду вугільної кислоти, фульвокислот та інших органічних кислот у результаті розкладання органічних речовин); слабокислі води –  $\text{pH} = 5-6,5$  (присутність гумусових кислот у ґрунті і болотних водах (води лісової зони); нейтральні води –  $\text{pH} = 6,5-7,5$  – наявність у водах  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ; слаболужні води –  $\text{pH} = 7,5-8,5$ ; лужні води  $\text{pH} = 8,5-9,5$  (присутність  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) [175, 176].

Як свідчать дані (рис. 4.3), фіксується відхилення від норми рН в оз. Кислому (слабокисла вода), в каналі Глибоке–Дністер. У порівнянні з 2014 роком спостерігається погіршення стану води за рН.



Рис. 4.2. Космознімок території підприємства та точки відбору проб

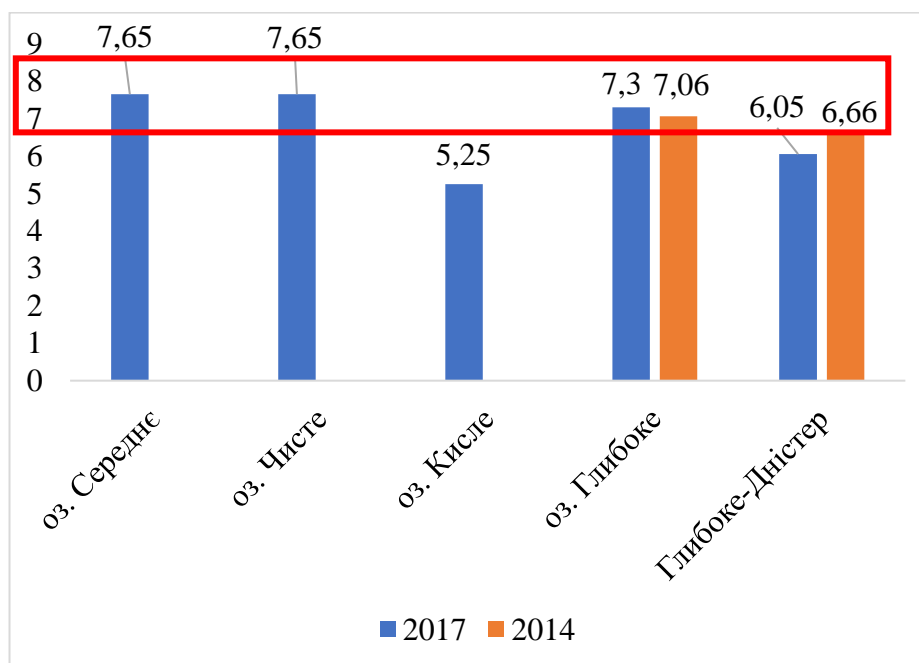


Рис. 4.3. Значення рН у точках відбору проб

Головним джерелом сульфатів у поверхневих водах є процеси хімічного вивітрювання і розчинення мінералів, які містять сірку, в основному гіпс, а також окислення сульфідів і сірки. Сульфати в основному переважають у водах з підвищеною мінералізацією.

У проаналізованих водних об'єктах перевищення ГДК за сульфатами сягає більш, ніж у 17 разів, за мінералізацією – у 3 рази (рис. 4.4, 4.5). У порівнянні з 2014 р. є тенденція погіршення стану води за цими показниками. Підвищення мінералізації свідчить про негативний вплив відходів гірничо-хімічного підприємства на водне середовище. Підвищення вмісту сульфатів погіршує органолептичні властивості води і здійснює фізіологічний вплив на організм людини [71, 177, 178].

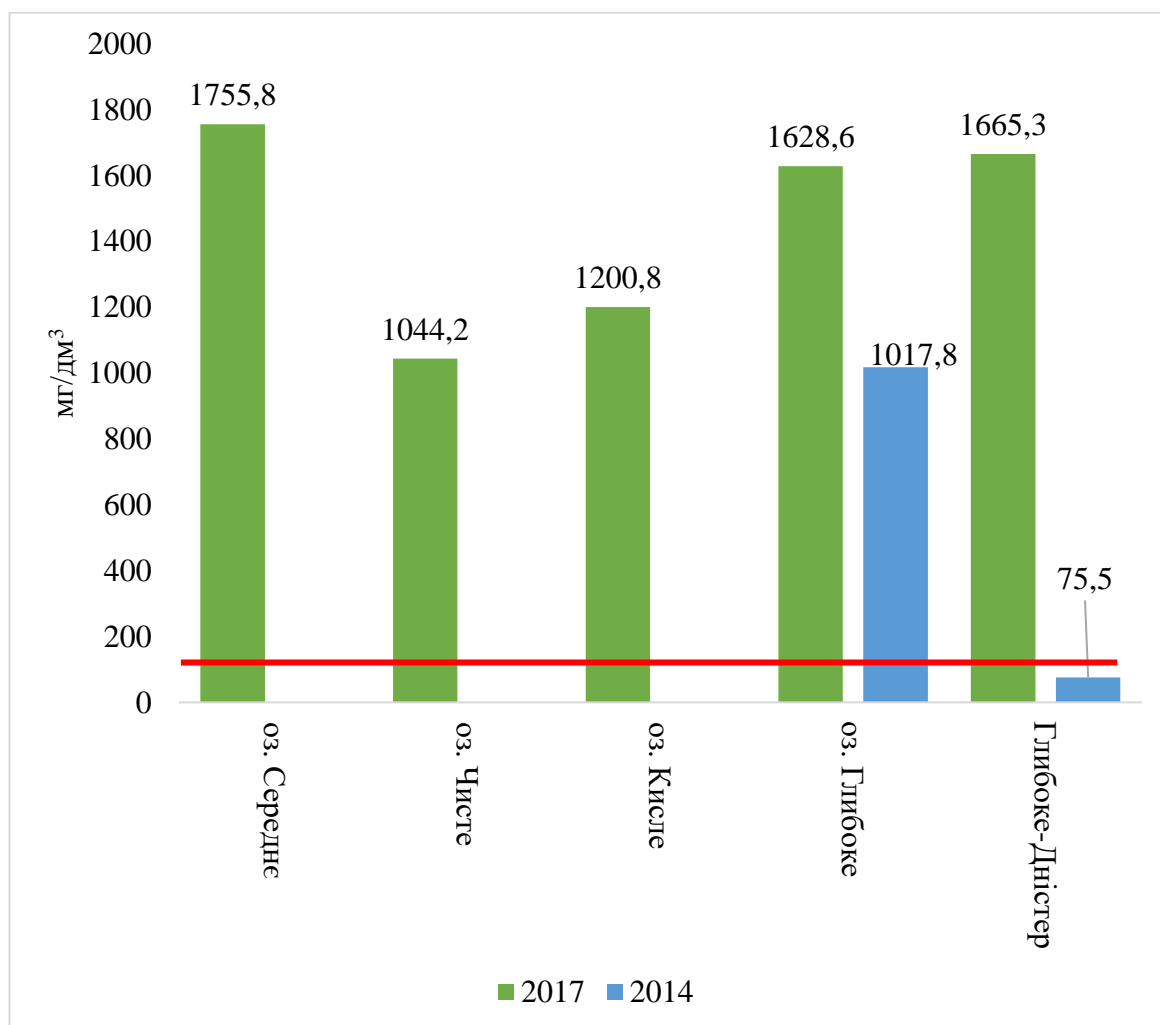
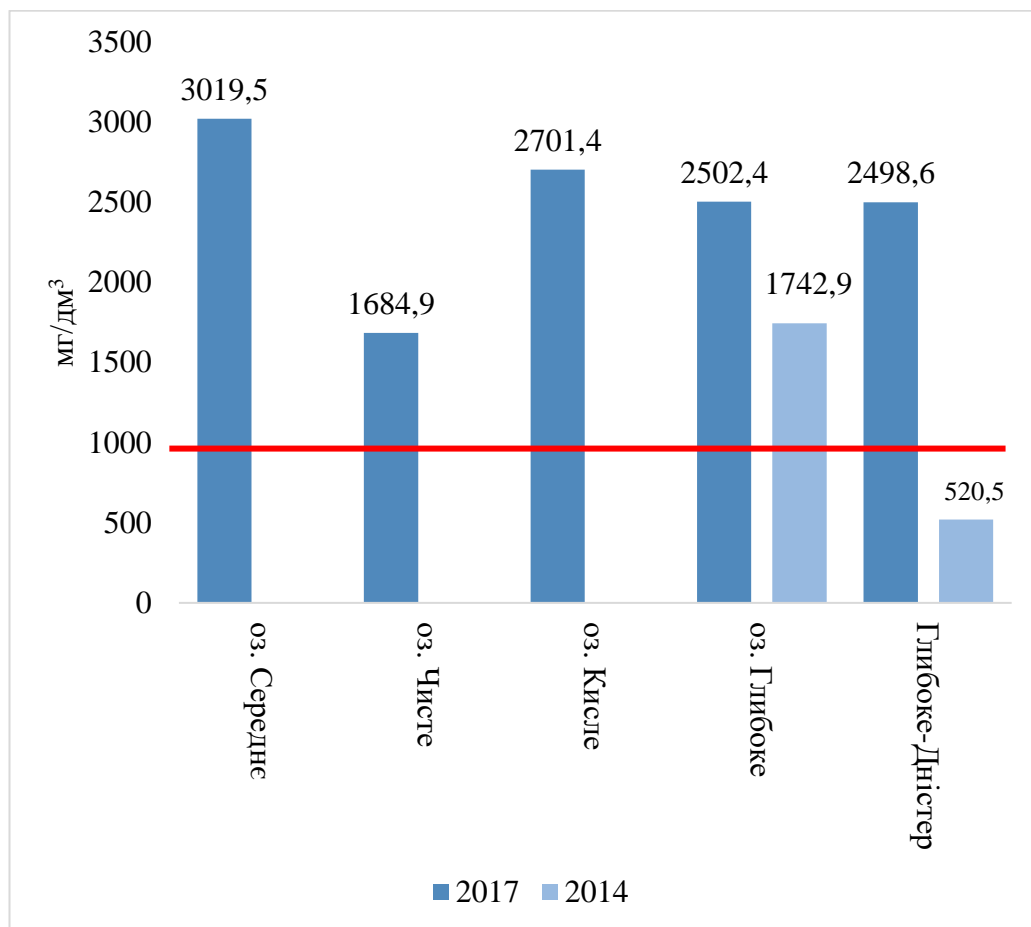


Рис. 4.4. Вміст сульфатів у точках відбору проб



Підвищений вміст хлоридів погіршує смакові якості води, робить її малопридатною для питного водопостачання, обмежує використання для багатьох технічних і господарських цілей, зрошення сільськогосподарських угідь [179]. ГДК хлоридів у воді становить  $300 \text{ мг/дм}^3$ . У проаналізованих пробах води найвищий вміст хлоридів становить  $241,4 \text{ мг/дм}^3$  в оз. Середньому, що не перевищує норми. в каналі Глибоке-Дністер вміст хлоридів становить  $14,2 \text{ мг/дм}^3$ .

ГДК фосфатів у воді –  $3,5 \text{ мг/дм}^3$ . Визначено вміст фосфатів у воді. В оз. Кислому він значно перевищує ГДК (більше, ніж у 200 разів) і становить  $729,3 \text{ мг/дм}^3$ . Присутність фосфатів у воді істотно впливає на розвиток водної рослинності.

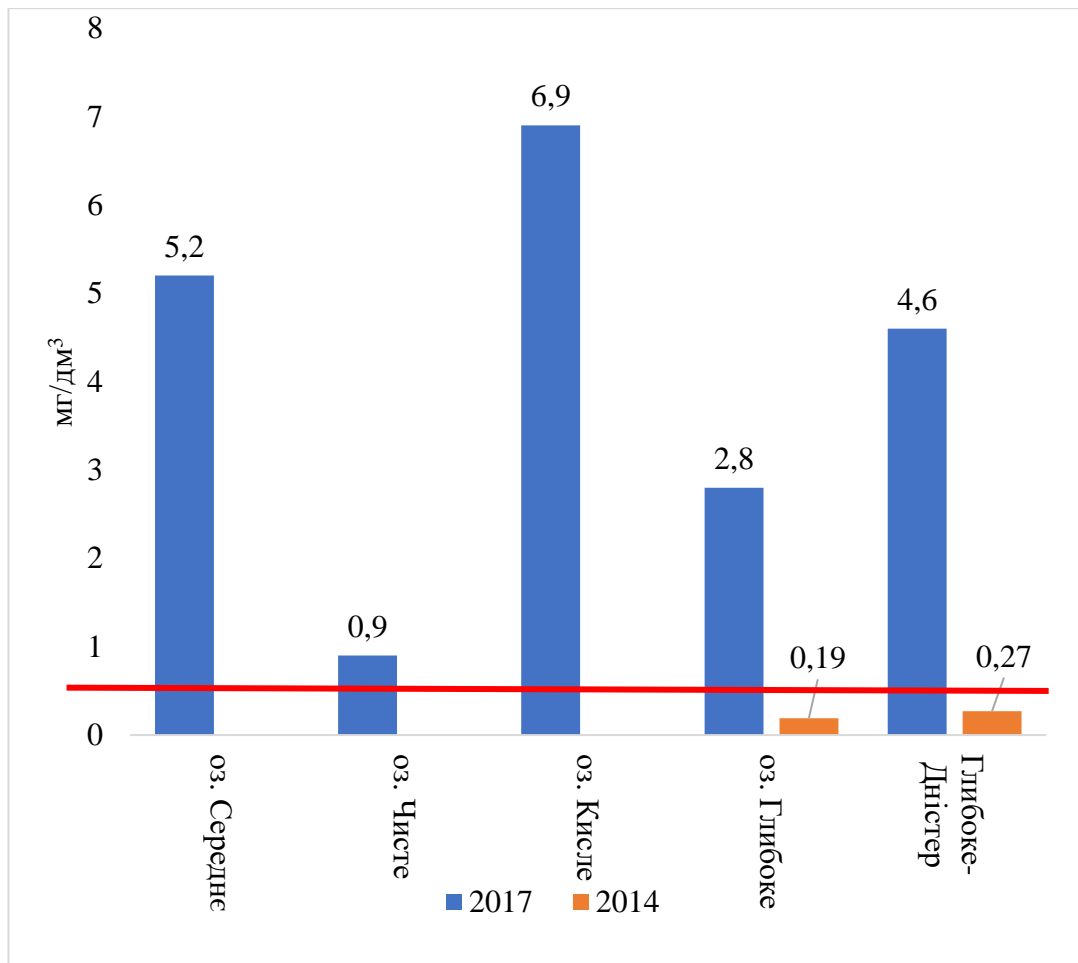


**Рис. 4.5.** Значення мінералізації в точках відбору проб

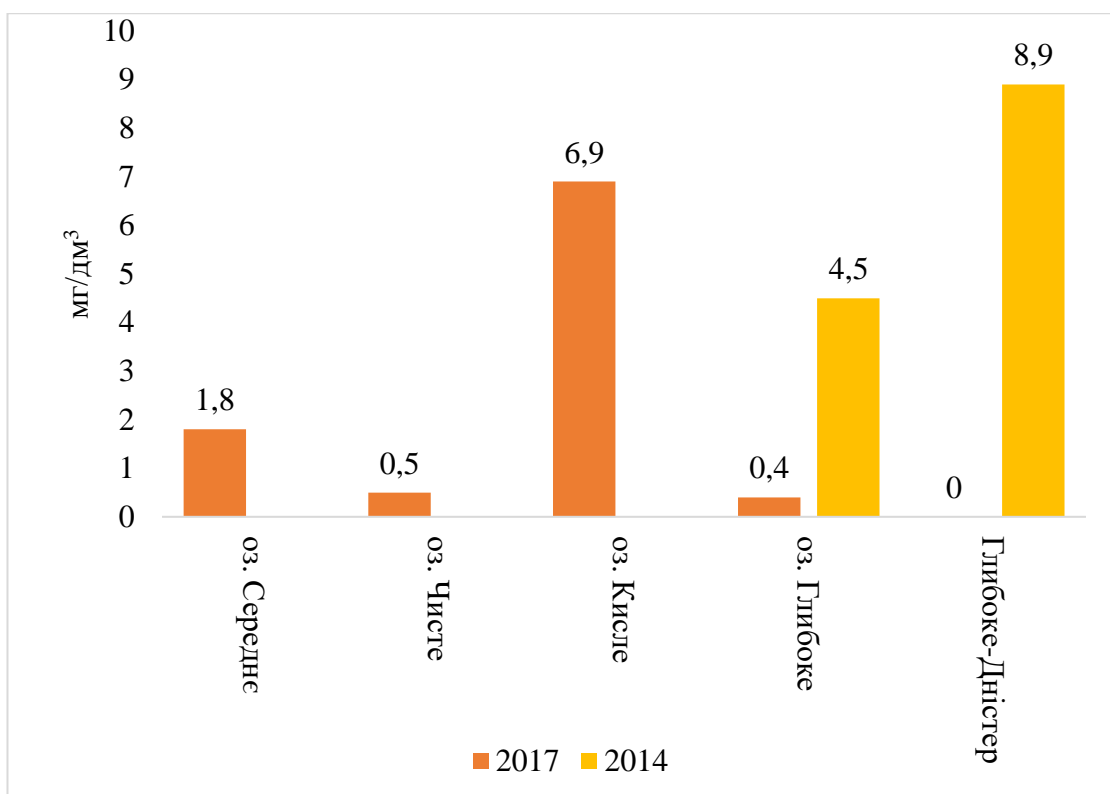
ГДК азоту амонійного у воді становить  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ . У всіх водних об'єктах фіксується перевищення його ГДК (рис. 4.6). Це пов'язано з тим, що на території підприємства біля оз. Глибокого дотепер зберігаються гудрони. Біля оз. Кислого розташовано відвал фосфогіпсу. Між оз. Середнім та оз. Глибоким розташоване звалище ПВ, що також має негативний вплив на водне середовище. В порівнянні з 2014 р. ситуація значно погіршилася.

Гранично допустима концентрація нітрат-іонів у воді становить  $40 \text{ мг NO}_3/\text{дм}^3$ . Підвищення вмісту нітратів вказує на погіршення санітарного стану водойми. У водоймах підприємства нема перевищення ГДК за нітрат-іонами (рис. 4.7) [132].

Отримано результати гідрохімічних досліджень за 2017 р. на озерах Глибоке, Середнє, Чисте та Кисле (поверхня), а також каналу оз. Глибоке-Дністер (табл. 4.5) [180].



**Рис. 4.6.** Вміст азоту амонійного у воді



**Рис. 4.7.** Вміст нітрат-іонів у воді

*Табл. 4.5.*

**Результати гідрохімічного моніторингу за 2017 р.**

	Фактичні концентрації, мг/дм <sup>3</sup>				
	Озеро Середнє	Озеро Чисте	Озеро Кисле	Озеро Глибоке	Канал озеро Глибоке-Дністер
Водневий показник	7,65	7,65	5,25	7,3	6,05
Сульфати	1755,8	1044,2	1200,8	1628,6	1665,3
Хлориди	241,4	63,2	113,8	122,4	—
Мінералізація	3019,5	1684,9	2701,4	2502,4	2498,6
Азот амонійний	5,2	0,9	6,9	2,8	4,6
Нітрат-іони	1,8	0,5	6,9	0,4	—
Фосфати	1,1	0	729,3	0	—

Як свідчать отримані дані, у поверхневому шарі вод всіх Роздільських озер фіксується перевищення нормативних показників за мінералізацією (ГДК – 1000 мг/дм<sup>3</sup>) та сульфатами (ГДК – 100 мг/дм<sup>3</sup>), а в оз. Кислому та оз. Середньому – і за фосфатами (ГДК – 0 мг/дм<sup>3</sup>), в оз. Кислому рН становить 5,25 при нормі від 6,5 – до 8,5 [170, 137].

У каналі озера Глибоке-Дністер встановлено перевищення ГДК за такими показниками: рН становить 6,05 (норма – від 6,5 – до 8,5), сульфати – 1665,3 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 100 мг/дм<sup>3</sup>), азот амонійний – 4,6 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 0,5 мг/дм<sup>3</sup>), мінералізація – 2498,6 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 1000 мг/дм<sup>3</sup>). Скид забруднених стічних вод у р. Дністер є порушенням ст. 44, 70, 95 Водного Кодексу [170].

Основною причиною забруднення водних об'єктів території підприємства та р. Дністер є невиконання робіт проекту з підтримки екологічної рівноваги, моніторингу, рекультивації земель території внаслідок недостатнього фінансування, призначеного для виконання проектів. У зв'язку з цим, джерела забруднення (фосфогіпс, гудрони, комова сірка, хвости флотації, ПВ) постійно впливають довкілля і з роками ситуація залишається стало небезпечною.

Отже, як свідчать отримані дані, у поверхневому шарі вод всіх Роздільських озер фіксується перевищення нормативних показників. Водні об'єкти Роздільського ДГХП "Сірка" за гідрохімічним індексом належать до вод із задовільним, поганим і дуже поганим екологічним станом.

Крім визначення якості поверхневих досліджуваних вод за цією методикою оцінено параметри водних об'єктів, які перевищують їх гранично допустимі концентрації.

Самовідновлювальної здатності водних джерел недостатньо для подолання негативних впливів і відтворення порушеної екологічної рівноваги.

Для забезпечення екологічної рівноваги в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" необхідно:

- проведення регулярних моніторингових спостережень;

- визначення стабільних джерел фінансування для утримання, нагляду, та контролю за станом гідротехнічних споруд;
- ліквідація наявних джерел забруднення – склад гудронів, полігон ПВ міста, склад комової сірки, відвал фосфогіпсу;
- рекультивація порушених земель території заводу сухих мінеральних добрив.

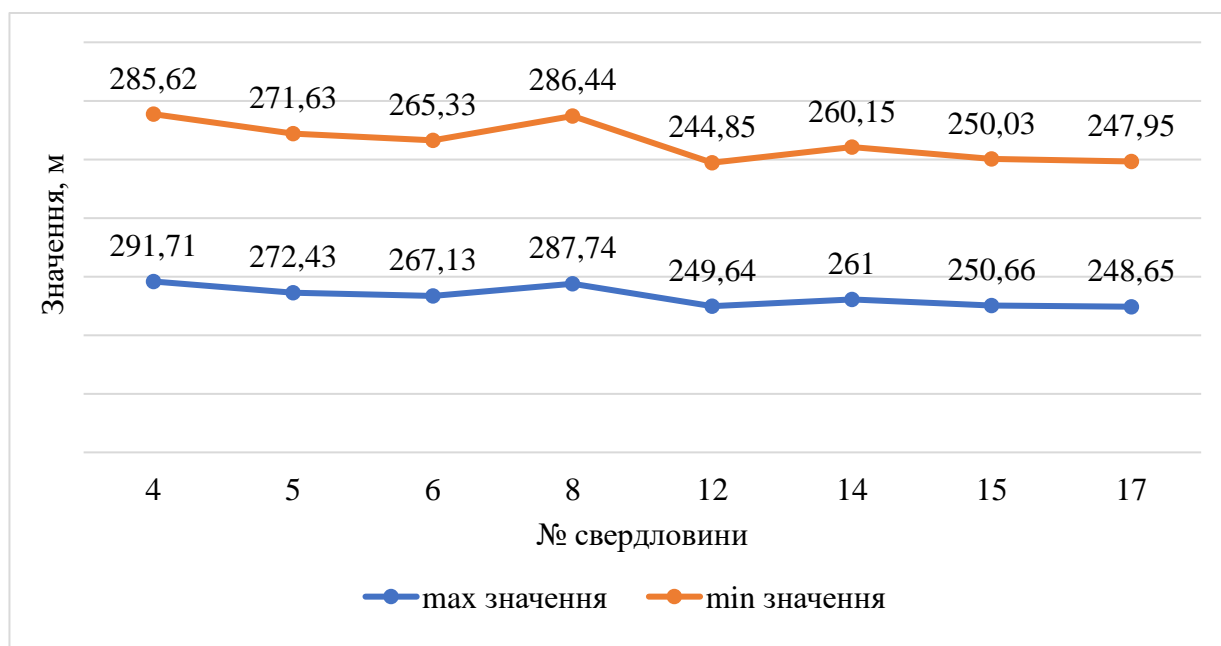
#### **4.2. Забруднення підземних вод території Роздільського ДГХП "Сірка"**

Спостереження за станом і якістю підземних вод гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації є не менш важливим. Відсутність належного фінансування гідрогеологічних робіт призвело впродовж останнього десятиріччя до повного занепаду моніторингу підземних вод не тільки гірничо-хімічних підприємств, а й в цілому. Водночас у країнах Європи питання оцінювання ресурсів і моніторингу підземних вод є пріоритетними в діяльності геологічних служб. Тому потрібно вжити термінові заходи, щоб відновити моніторинг й реформувати його систему за європейським зразком.

Зміну гідрогеологічної будови зумовлено переміщенням четвертинних відкладів у гідровідвали і заміщенням виробленого простору глинами внутрішніх відвалів, які перерізають водоносний горизонт четвертинних відкладень водотривким бар'єром. В зоні впливу підприємства у 90-х рр. ХХ ст. пробурено біля 100 гідропостережних свердловин, які розташовано на тортонському і четвертинному водоносному горизонті. На жаль, сьогодні більшість з них вийшла з ладу. Усі свердловини розташовано в заплаві р. Дністер (рис. 4.8, 4.9).

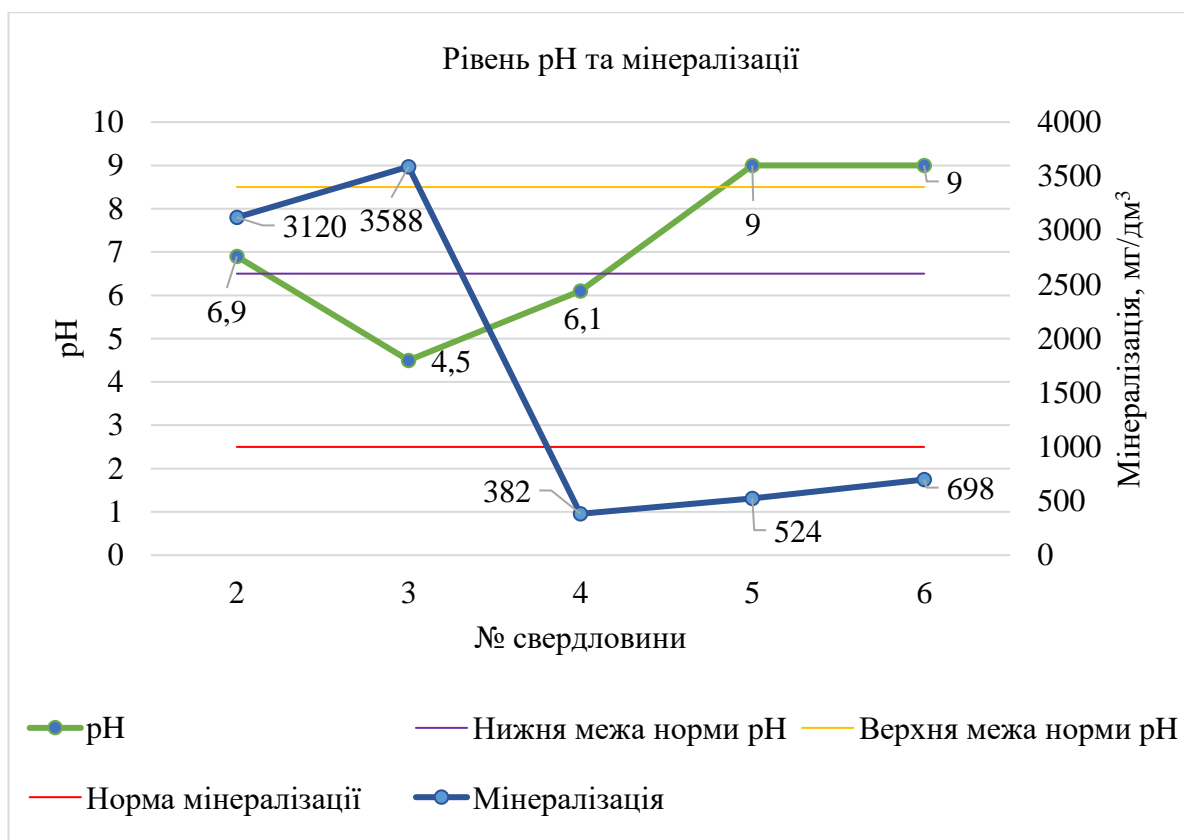


**Рис. 4.8.** Карта свердловин



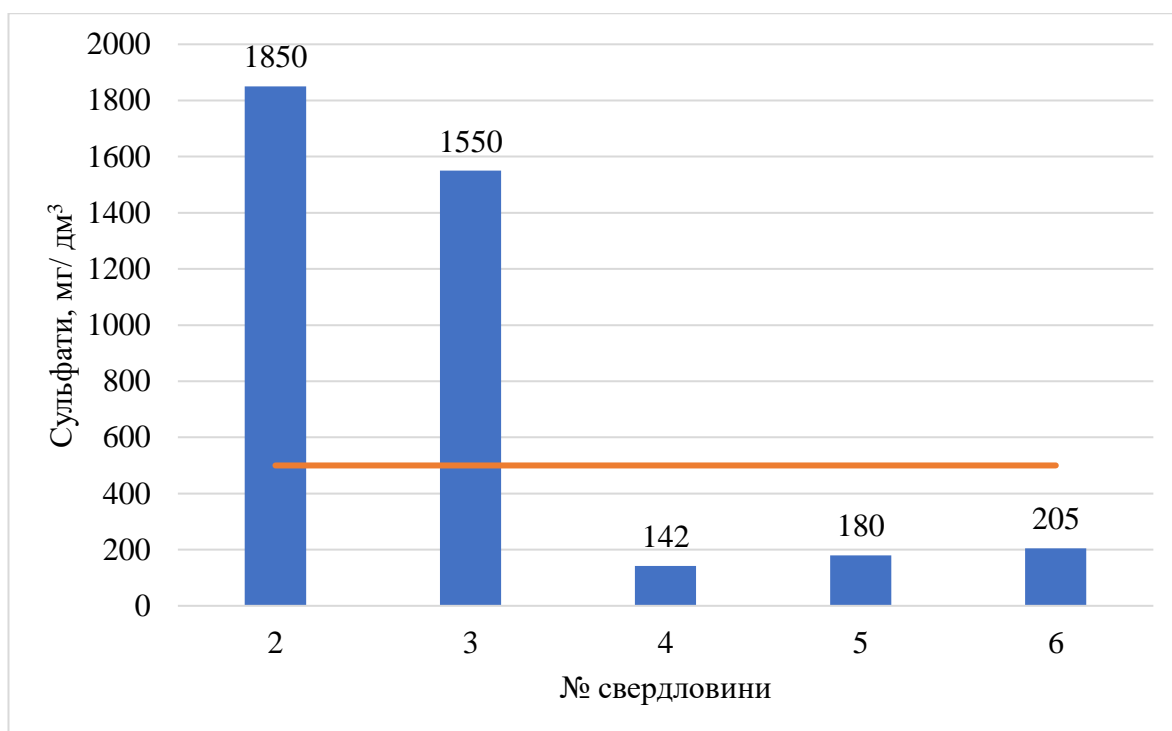
**Рис. 4.9.** Максимальні і мінімальні результати режимних спостережень рівня підземних вод у свердловинах

Досліджено склад підземних вод за вмістом хімічних елементів. У п'ятих свердловинах встановлено перевищення норми за різними показниками. Зокрема, рівень мінералізації становить 3120 мг/дм<sup>3</sup> і 3588 мг/дм<sup>3</sup> за норми 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Як видно з графіка при високому значенні рН спостерігається низький вміст мінералізації (рис. 4.10).

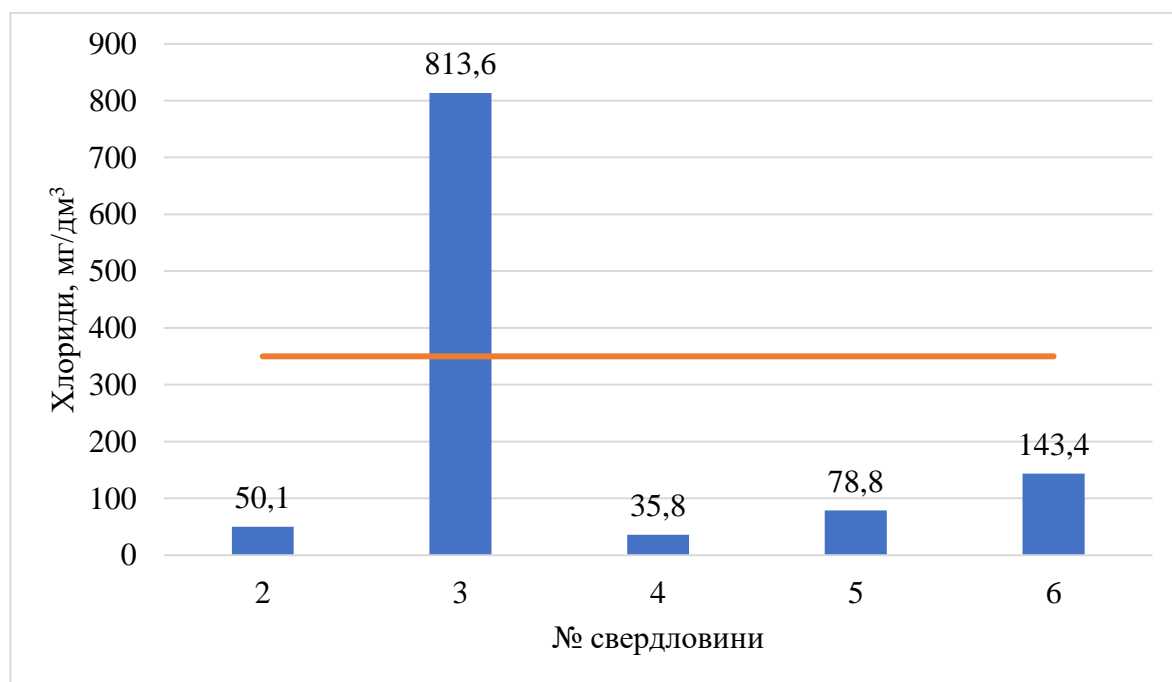


**Рис. 4.10.** Рівень рН та мінералізації в свердловинах

Вміст сульфатів становить 1850 мг/дм<sup>3</sup> і 1550 мг/дм<sup>3</sup> за норми 500 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 4.11). Вміст фосфатів – 216 мг/дм<sup>3</sup> (норма – 3,5 мг/дм<sup>3</sup>), хлоридів – 813,6 мг/дм<sup>3</sup> (норма – 350 мг/дм<sup>3</sup>) (рис. 4.12).



**Рис. 4.11.** Вміст сульфатів у воді



**Рис. 4.12.** Вміст хлоридів у воді

Моніторинг підземних вод гірничо-хімічного підприємства є важливою складовою в системі екологічного моніторингу, що, в свою чергу, є надзвичайно важливим для підвищення екологічної безпеки довкілля.



Тому, потрібно терміново розпочати впровадження заходів, які б дали змогу оцінити сучасний стан мережі спостережних свердловин, відновити спостереження на вцілілих свердловинах, удосконалити нормативно-методичне забезпечення, реалізувати низку організаційних заходів для координації дій суб'єктів моніторингу й забезпечення ефективнішого використання інформації, що стосується стану підземних вод [181].

#### **4.3. Зміна складу і властивостей показників води прилеглих територій до гірничо-хімічних підприємств**

Уся річкова мережа України належить до 9 основних гідрологічних басейнів: р. Дніпра, р. Сіверського Дінця, р. Дністра, р. Південного Бугу, р. Дунаю, малих річок Причорномор'я, малих річок Криму, малих річок Приазов'я, р. Вісли.

Дністер – транскордонна річка, друга за розмірами в Україні та належить до важливих водних артерій Західної України та Молдови. Басейн р. Дністер розташовано на території з високим промисловим потенціалом. Нині існує тенденція забруднення території не тільки підприємства, а й прилеглих до нього територій. Значні коливання водного стоку, зливовий гідрологічний режим, висока інтенсивність водокористування та скид промислових, господарсько-побутових та сільськогосподарських стічних вод створюють у басейні Дністер нестабільну гідроекологічну ситуацію. Це зумовлює необхідність комплексного дослідження гідрологічного і гідрохімічного режимів басейну Дністра [175, 89, 182, 183].

Отримано результати гідрохімічних досліджень за період 2015-2018 рр. в двох точках відбору проб (рис. 4.13) [184]:

1. р. Дністер, 1 км вище м. Розділ, 0,2 км нижче впадання р. Колодниця;
2. р. Дністер, 1 км нижче м. Розділ, 0,2 км нижче впадання р. Куна.

Норма БСК<sub>5</sub> – 3 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> [6]. БСК – важливий екологічний показник стану природної водойми. Перевищення норми в р. Дністер біля

Роздільського ДГХП "Сірка" спостерігається з 2018 р. (рис. 4.14) і свідчить про високий вміст органіки у воді.



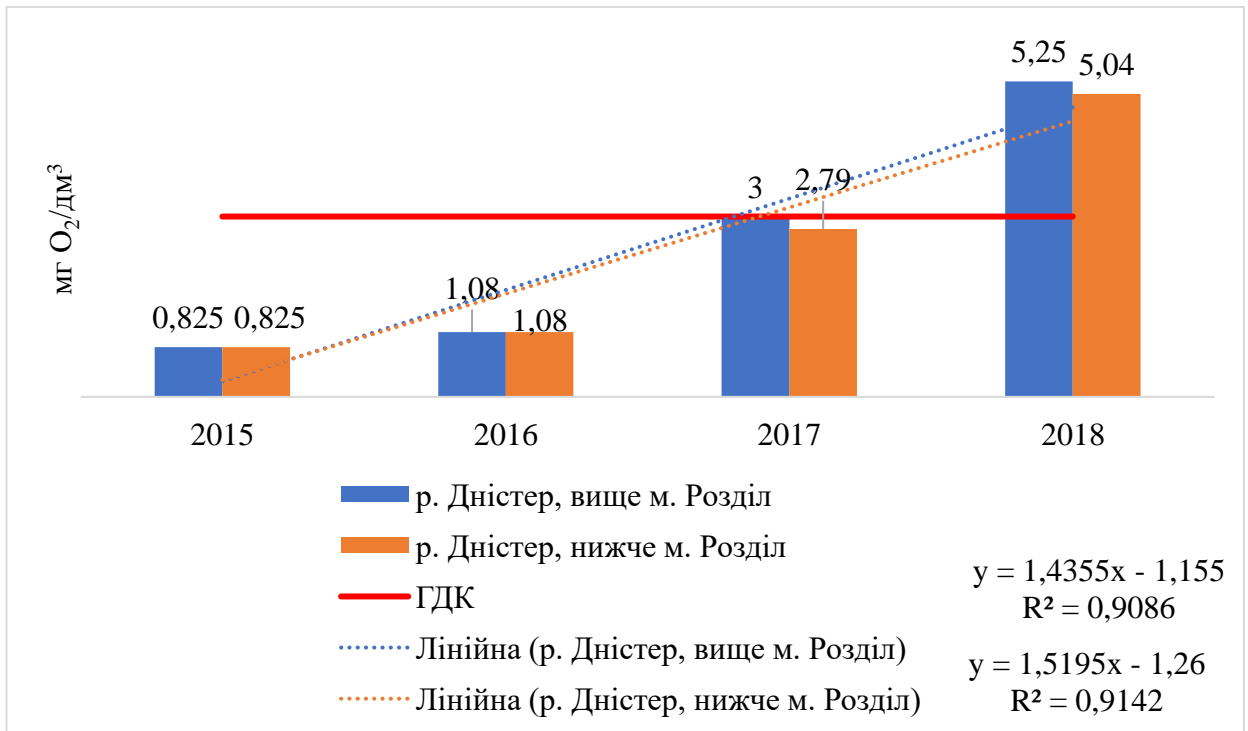
**Рис. 4.13.** Космознімок пунктів відбору проб води

Зазвичай вміст сульфатів у поверхневих водах зумовлено процесами вивітрювання гірських порід, розчинення сірковмісних мінералів, окиснення сульфідів і сірки, відмирання водних організмів, окиснення речовин рослинного та тваринного походження, з підземним стоком, скидами шахтних вод, стічних вод галузей промисловості, житлово-комунального та сільського господарства. Вміст сульфатів визначає некарбонатну жорсткість води.

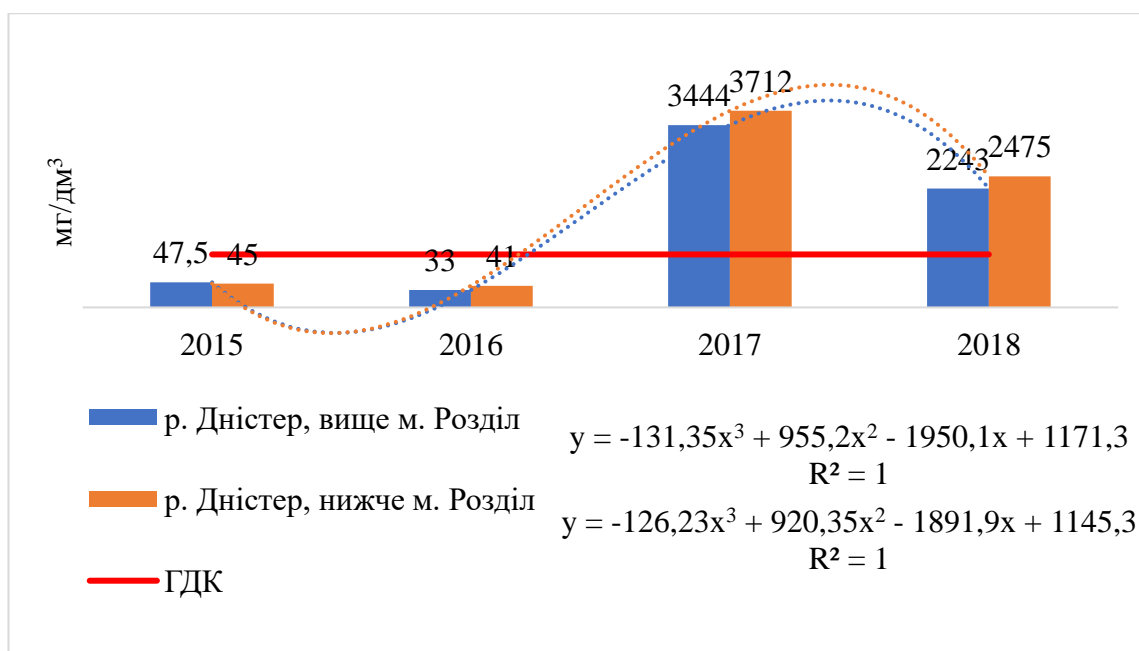
ГДК сульфатів у воді рибогосподарського призначення –  $100 \text{ мг/дм}^3$ . З 2017 р. спостерігається значне перевищення ГДК сульфатів у р. Дністер – в 37 разів у 2017 р., у 25 разів у 2018 р. (рис. 4.15). Нижче Роздільського ДГХП "Сірка" вміст сульфатів вищий.

Джерелами надходження амонію сольового у поверхневій воді є скиди стічних вод тваринницьких ферм, побутових стічних вод, стічних вод харчової лісохімічної та хімічної промисловості, поверхневий стік з сільськогосподарських угідь, в яких містяться амонійні добрива. Присутність амонію сольового пов'язано з процесами біохімічної деградації білків, дезамінування амінокислот, розкладу сечовини під дією уреаз.

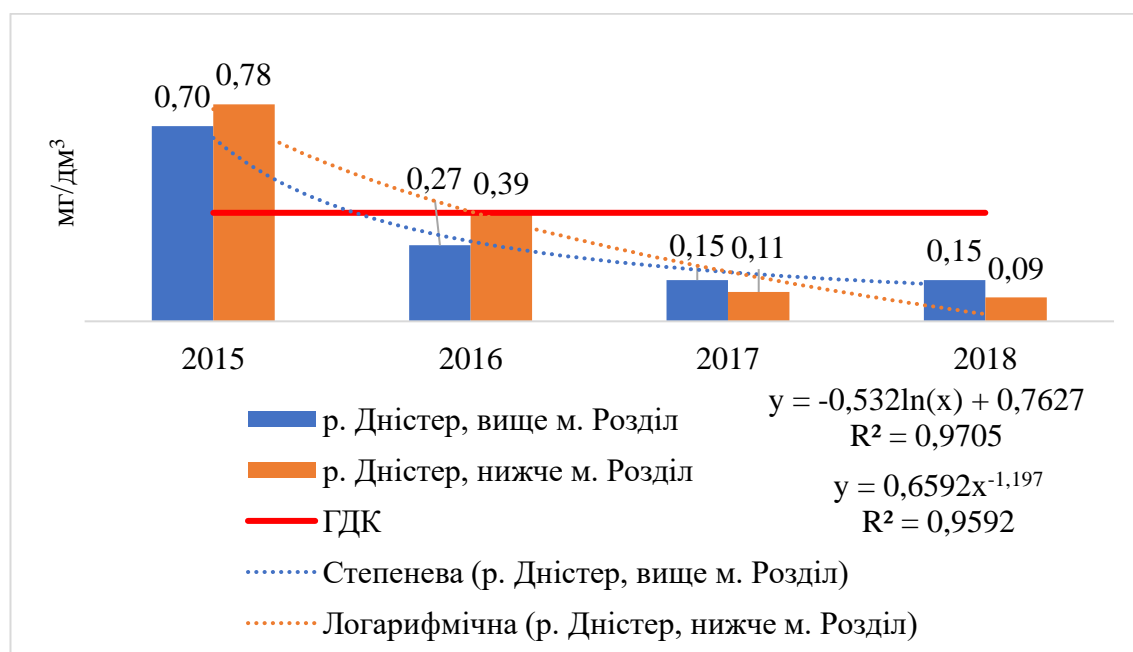
Токсичність амонію збільшується з підвищенням рН. Вміст амонію сольового у Дністрі біля Роздільського ДГХП "Сірка" перевищував гранично допустиму концентрацію тільки у 2015 р. (перевищення майже в 2 рази) (рис. 4.16).



**Рис. 4.14.** Зміна показника БСК<sub>5</sub>



**Рис. 4.15.** Зміна вмісту сульфатів у точках відбору проб (2015-1018 рр.)



**Рис. 4.16.** Зміна вмісту амонію сольового у р. Дністер

У 2015 р. спостерігалось перевищення ГДК нітратів: у р. Дністер, 1 км вище м. Розділ – перевищення ГДК в 1,6 разів; у р. Дністер, 1 км нижче м. Розділ – перевищення ГДК в 1,7 разів [176]. Зміна показника БСК близька до лінійної залежності, вмісту сульфатів – за поліноміальною лінією тренду 2-го

ступеня, залежність вмісту амонію сольового змінюється за степеневою та логарифмічною кривими [184].

#### 4.4. Висновки до розділу 4

1. Встановлено, що водні об'єкти Роздільського ДГХП "Сірка" за гідрохімічним індексом належать до вод із задовільним, поганим і дуже поганим екологічним станом.

2. Експериментально зафіксовано перевищення нормативних показників за мінералізацією (ГДК – 1000 мг/дм<sup>3</sup>) та сульфатами (ГДК – 100 мг/дм<sup>3</sup>), а в оз. Кислому та оз. Середньому – і за фосфатами, в оз. Кислому рН становить 5,25 при нормі від 6,5 – до 8,5.

3. У каналі озера Глибоке-Дністер встановлено перевищення ГДК за такими показниками: рН становить 6,05 (ГДК – від 6,5 – до 8,5), сульфати – 1665,3 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 100 мг/дм<sup>3</sup>), азот амонійний – 4,6 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 0,5 мг/м<sup>3</sup>), мінералізація – 2498,6 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 1000 мг/дм<sup>3</sup>).

4. Досліджено склад підземних вод за вмістом хімічних елементів. У п'ятьох свердловинах встановлено перевищення норми за різними показниками. Зокрема, рівень мінералізації становив 3120 мг/дм<sup>3</sup> і 3588 мг/дм<sup>3</sup> за норми 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст сульфатів становив 1850 мг/дм<sup>3</sup> і 1550 мг/дм<sup>3</sup> за норми 500 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст фосфатів – 216 мг/дм<sup>3</sup> (норма – 3,5 мг/дм<sup>3</sup>), хлоридів – 813,6 мг/дм<sup>3</sup> (норма – 350 мг/дм<sup>3</sup>).

5. Оцінено гідрохімічні показники проб води у р. Дністер вище і нижче скидів з Роздільського ДГХП "Сірка" за період з 2015 по 2018 рр. Встановлено перевищення ГДР БСК<sub>5</sub> та сульфатів. Перевищення ГДК амонію сольового спостерігається тільки у 2015 р. Оскільки, біля точок відбору проб знаходиться Роздільське ДГХП "Сірка", промислові відходи підприємства мають негативний вплив на транскордонну р. Дністер.

Результати розділу 4 опубліковано у наукових працях [170], [173], [176], [178], [180], [181], [184].

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАДІЇ ЛІКВІДАЦІЇ

#### 5.1. Екологічна безпека в зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка» та заводу складних мінеральних добрив

Екологічна ситуація в зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка» та Новороздільського заводу складних мінеральних добрив у м. Новий Розділ зумовлена специфічним переплетенням комплексу природних, інженерних, соціально-економічних чинників.

Як відомо, фосфогіпс утворений під час взаємодії сірчаної кислоти з апатитом. Найбільш розповсюджений – кальційфторапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , а також гідроксилапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ .

Склад хімічно чистого кальційфторапатиту: 42,23%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 55,64%  $\text{CaO}$ , 3,77%  $\text{F}$ . Природний чистий мінерал містить в середньому 40,7%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , і 2,8-3,4%  $\text{F}$ . Апатитові руди, крім апатиту, містять: нефелін  $(\text{Ca},\text{K})\text{AlSiO}_4 \cdot n\text{SiO}_2$ , піроксен – егірін  $\text{NaFe}(\text{SiO}_4)_2$ , та ін., титаномagnetит  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{FeTiO}_3 \cdot \text{TiO}_2$ , ільменіт  $\text{FeTiO}_3$ , сфен  $\text{CaTiSiO}_5$ , польові шпати, біотит, евдіаліт. Ці мінерали залишаються у хвостах збагачення.

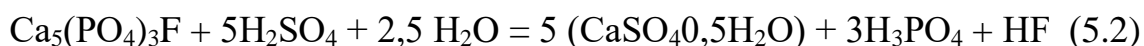
Апатит має формулу (5.1):



де  $\text{X}$  – зазвичай  $\text{F}$  (фторапатит), іноді  $\text{Cl}$  (хлорапатит). Атоми  $\text{F}$  можуть заміщатися на  $(\text{OH})^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  і  $\text{O}^{2-}$  (відповідно гідроксил-, карбонат і оксиапатити). У кристалічні ґрати апатиту замість  $\text{Ca}^{2+}$  можуть вміщатися  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , іони рідкісноземельних елементів, що також обумовлює різноманіття різновидів апатиту. У апатиті, що міститься в фосфоритах,  $\text{CO}_2$  ізоморфно

заміщає  $\text{PO}_4^{2-}$  з утворенням фторкарбонатапатита, що має знижений вміст  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Найбільш розповсюджений кальційфторапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , а також гідроксилапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ . Склад хімічно чистого кальційфторапатиту: 42,23%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 55,64%  $\text{CaO}$ , 3,77%  $\text{F}$ . Природний чистий мінерал містить в середньому 40,7%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , і 2,8-3,4%  $\text{F}$ .

Апатит не розчиняється у воді і не засвоюється рослинами. Щоб одержати мінеральне добриво, його розчиняють у сірчаній кислоті. В результаті утворюються розчинні фосфати, а кальцій і фтор ідуть у відходи. Цей процес протікає в дві стадії. На першій стадії апатит реагує з сірчаною кислотою (5.2):



На другій стадії залишковий апатит реагує з фосфорною кислотою (5.3):



Крім апатиту, розкладаються також нефелін та інші мінерали, які присутні в концентраті. При цьому в розчин переходять фосфати заліза, натрію, алюмінію. Плавикова кислота  $\text{HF}$  розчиняє силікати і переходить у кремнійфторводневу кислоту  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ . Тверді продукти реакції, які в основному складаються з гіпсу, називають фосфогіпсом.

Отже, можна стверджувати, що фосфогіпс – це штучний (техногенний) мінерал у вигляді безбарвних голчатих та пластинчатих кристалів, які утворюються внаслідок взаємодії сірчаної кислоти з апатитом. Формула фосфогіпсу  $\text{CaSO}_4 + \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (з вмістом до 5%  $\text{PO}_4$ ), молекулярна маса 172,17, густина 2,32 г/см<sup>3</sup>, розчинність у воді 0,206 г/100г. Він містить залишкові фосфорну та сірчану кислоти, а також фтор та фтороводневу кислоту [150, 185].

Морфологічно виділяють фосфогіпс у вигляді суцільної маси, окремих зерен та кристалів у вигляді паличок і голочок довжиною 0,1 - 0,4 мм.

В перерахунку на суху речовину в фосфогіпсі міститься 94%  $\text{CaSO}_4$ , 1,8% нерозкладаного апатиту, 1,8% фосфорної, 0,22% кремністофторводневої кислоти, 1,92% нерозчиненого залишку, 0,1% оксидів заліза та алюмінію. Вологість фосфогіпсу досягає 42%, з них 17-19% входить в кристалічну решітку гіпсу, а 22 – 24% вільні.

Уміст токсичних елементів і важких металів в фосфогіпсі перевищує кларкові значення по Al, Mg, Fe, Mo, Cu, Ba, P, F, Cd, Sr. Всі ці елементи в кислому середовищі розчинні і тому вода з відвалу збагачена кремнієм, алюмінієм, залізом, марганцем, барієм, бором, кадмієм і стронцієм [186].

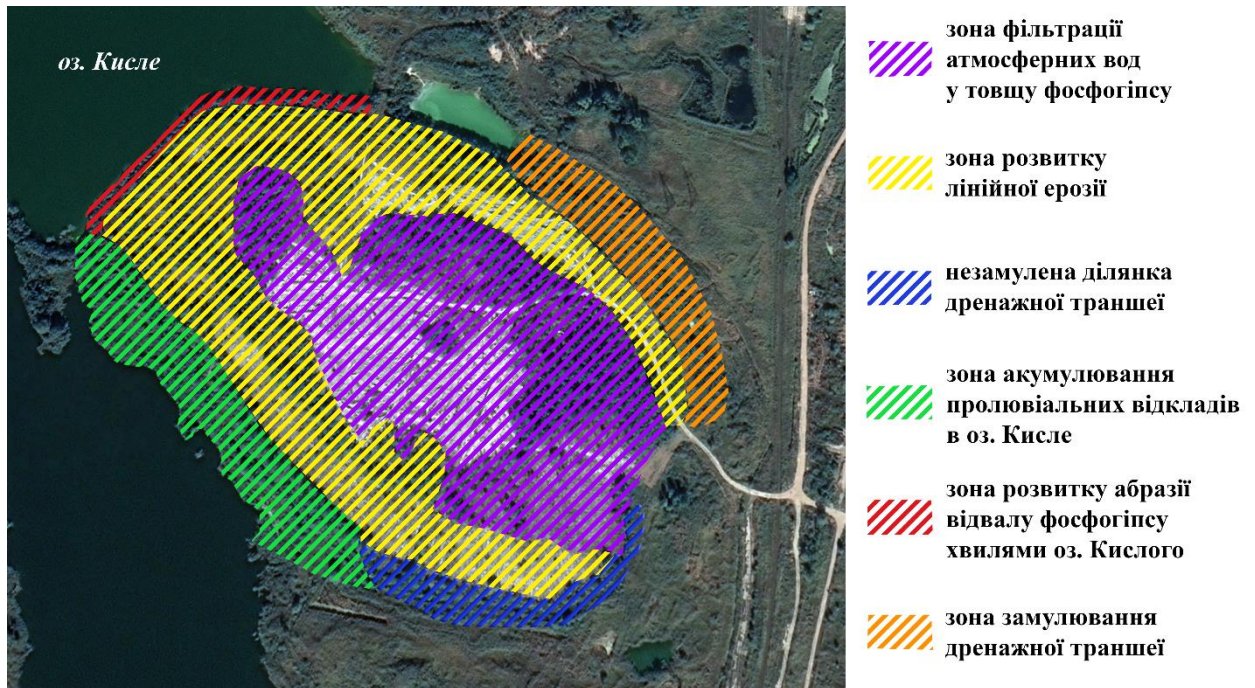
Ситуація ускладнюється тим, що через недофінансування природоохоронних заходів відходи хімічного виробництва, перебувають під прямим впливом атмосферних опадів. Фільтруючись крізь товщу фосфогіпсу та стікаючи по схилах відбувається активне розчинення тіла відвалу та ерозія його схилів. Новоутворений інфільтрат стікає у буферні водойми, води яких характеризуються кислою реакцією (рН 2-3). За цим параметром, одне з цих озер отримало назву Кисле, яке місцеві жителі часто називають Менделеевським (через те що містить цілий ряд хімічних елементів – фосфор, рідкоземельні елементи та у ньому немає живих організмів притаманних для гідрохімічно чистих водойм).

Відсутність гідроізоляції відвалу фосфогіпсу, спричинює активну взаємодію атмосферних опадів з промисловими відходами, їхні ерозійний та абразійний розмиви, які супроводжуються збільшенням площі взаємодії та активні геохімічні процеси на відвалі фосфогіпсу та їхнє посилення, що призводить до продовження поступлення інфільтрату кислих вод в озеро Кисле (рис. 5.1).

Припинення використання вод озера Кислого в якості оборотних вод заводу складних мінеральних вод та постійне акумулювання інфільтрату зумовило низку екологічних проблем. Зокрема наслідком переповнення озера



Кисле є поверхневий стік забруднених вод у русло транскордонної річки Дністер, яка знаходиться на відстані 1 км від озера.



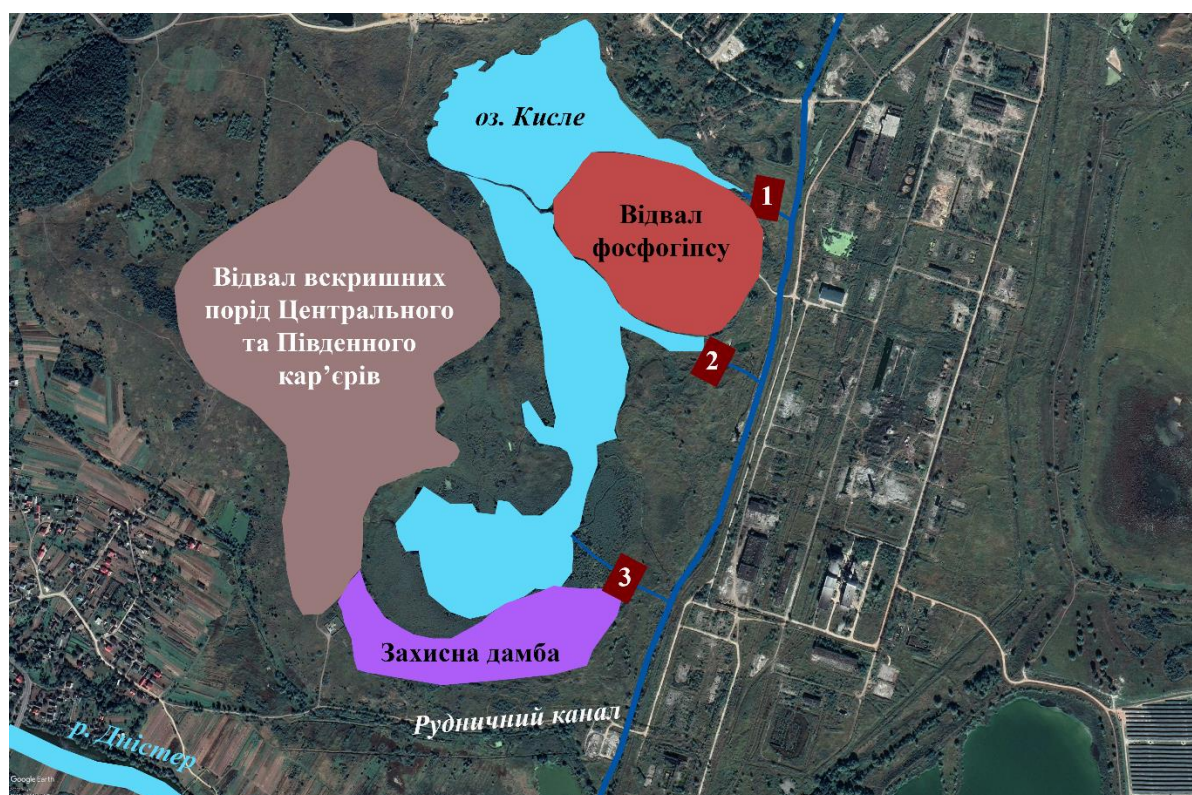
**Рис. 5.1.** Просторове розташування зон розвитку екзогенних геологічних процесів в межах відвалу фосфогіпсу та східного берега оз. Кисле

Саме цим зумовлена актуальність пропонованої нами пропозиції з вирішення екологічної проблеми. Раніше новоутворені інфільтрати відпомповувались на станцію нейтралізації, де проходила їхня взаємодія із хвостами флотації представлених крупною фракцією вапняків. Завдяки цьому кислі стоки не потрапляли у транскордонну р. Дністер.

Однак в останні 20 років ця система через недофінансування природоохоронних заходів не працює, обладнання стало нефункціональним, а також відсутній штат працівників, які б могли його обслуговувати.

Враховуючи вищевказане, для забезпечення екологічної безпеки транскордонної річки Дністер, нами пропонується облаштування простої системи трьох фільтрувальних дамб на трьох витоках на правому березі

Рудничного каналу (позначено цифрами 1, 2, 3 відповідно), яким кислі стоки потрапляють у транскордонну річку Дністер (рис.5.2).



**Рис. 5.2.** Пропонована система облаштування трьох фільтрувальних дамб на витоках з оз. Кислого у Рудничний канал, яким кислі стоки потрапляють у р. Дністер

Принципову схему фільтрувальної дамби показано на рис. 5.3.



**Рис. 5.3.** Принципова схема фільтруючої дамби

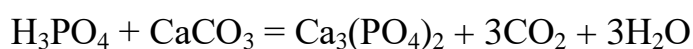
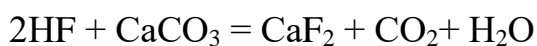
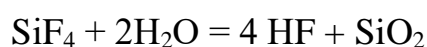
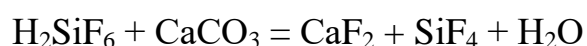
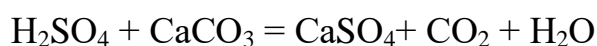
Об'єм кожної дамби, не перевищує 100 м<sup>3</sup>. Матеріалом для відсипки фільтрувальних дамб можуть бути крупні фракції хвостів флотації, які заскладовано на відстані 1000 м від відвалу фосфогіпсу (рис. 5.4).



**Рис. 5.4.** Крупні фракції хвостів флотації сірчаних руд, заскладовані на відстані 1000 м від відвалу фосфогіпсу.

Карбонатний склад відходів збагачення обумовлює можливість їх використання для нейтралізації кислих вод, висока водопроникність – для відсипки фільтрувальної дамби, а вміст сірки обумовлює зв'язування важких металів в нерозчинні сполуки.

Такі реакції нейтралізації компонентів визначають підвищену кислотність вод оз. Кисле:



З часом (1-2 роки) матеріал дамб із карбонатного, перетворюється в основному на фосфогіпс (гіпс із незначними домішками флюориту та фосфату кальцію), які можна закладувати на ділянках ерозійного розмиву відвалу фосфогіпсу, а на їх місці відсипати фільтруючі дамби зі свіжих хвостів флотації.

Отже, такий підхід із влаштування системи фільтруювальних дамби з карбонатних матеріалів (крупних фракцій мелених сірковмісних вапняків), яка характеризується здатністю до нейтралізації кислих вод, високою водопроникливістю, що буде обумовлювати нейтралізацію кислих вод та зв'язування важких металів в нерозчинні сполуки, буде слугувати запобіжним заходом для потрапляння кислих вод з оз. Кисле в русло р. Дністер, суттєво покращить стан екологічної безпеки в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка".

## **5.2. Методи підвищення екологічної безпеки в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка"**

За допомогою різних методів вимірювання кількісного і якісного складу забруднювальних речовин у елементах довкілля можна підвищити екологічну безпеку гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

### **5.2.1. Акустичний метод вимірювання концентрації домішок у речовині**

Нині теоретичні та практичні аспекти автоматизованого контролю стану водних екосистем розвинуті недостатньо. Водні середовища природних водних об'єктів є складними системами, що містять розчинені неорганічні та органічні речовини, завислі частинки різного походження, водні організми тощо.

Під час забруднення водних об'єктів у них відбувається внесення речовини або енергії, що призводить до зміни функціонування водних екосистем, потоків енергії і речовин, продуктивності та чисельності біологічних популяцій тощо. Забруднення водних середовищ та комплексний антропогенний вплив на водні об'єкти призводить до зміни концентрацій розчинених речовин, що можуть перевищити гранично допустимі значення; зміни концентрацій завислих частинок та співвідношень між об'ємними концентраціями частинок певних типів; зміни чисельності популяцій водних організмів у водних екосистемах. Це призводить до зміни властивостей водного об'єкта та виникнення небезпеки для живих ресурсів екосистеми та здоров'я людини.

Відомий метод визначення акустичних параметрів матеріалів, який забезпечує ультразвуковий контроль матеріалів вимірюванням часу поширення та поглинання ультразвукових коливань у них [187]. Пристрій для ультразвукового контролю матеріалів описано в [188], основними структурними елементами якого є послідовно з'єднані генератор, акустичний випромінювач, акустичний приймач, підсилювач та детектор. Однак розглянуті метод та пристрій не враховують вплив температури на швидкість поширення ультразвуку в контрольованій речовині, що обмежує їх точність та умови використання.

У [189] описано метод ультразвукового контролю хімічного складу навколишнього середовища та пристрій для його реалізації, який полягає в тому, що визначають хімічний склад середовища вимірюванням часу поширення ультразвуку від ультразвукового випромінювача через середовище з контрольованим хімічним складом до ультразвукового приймача. Далі порівнюють час поширення ультразвуку в контрольованому та еталонному середовищах, тому виключається вплив температури на точність контролю. Однак цей метод має недостатню чутливість для вирішення багатьох прикладних задач, особливо низьких концентрацій речовин. Також в ньому

визначають концентрацію речовин тільки для одного значення концентрації еталонного середовища.

У [84] введено новий інтегральний параметр – загальну концентрацію  $C_{\Sigma}$ :  $C_{\Sigma} = C_S + C_{OR}$  домішок, де  $C_S$  – концентрація неорганічних речовин у воді,  $C_{OR}$  – концентрація органічних речовин у воді. Показано, що вона дає змогу оперативно виявляти рівень забруднення водного середовища. Встановлено зв'язок інтегрального параметра  $c_{\Sigma}$  з параметрами акустичних коливань під час зондування водного середовища з урахуванням впливу температури, тиску і швидкості звуку [190]. За малих (до 10%) концентрацій домішок швидкість звуку можна подати сумою компонентів. Отже, швидкість звуку у воді залежить від швидкості звуку у дистильованій воді  $c_0$  з урахуванням температури  $c_T$ , солей  $c_S$ , тиску  $c_P$ , взаємного впливу температури, солей та тиску  $c_{TSP}$ , вмісту органічних домішок  $c_{OR}$ , впливу повітряних бульбашок  $c_b$  та зависей  $c_z$ , швидкості течії  $c_v$  та нелінійних ефектів  $c_g$ . Найбільше впливає на сумарну швидкість звуку температура.

Для зниження рівня похибок використаємо принцип інваріантності, сформульований академіком Б. М. Петровим [191], який полягає у багатоканальності інваріантних засобів вимірювань.

Інший шлях – створення еталонного каналу, який визначатиме суму кількох компонентів

$$c_{1e} = c_{0e} + c_{Te}, \quad (5.4)$$

або 
$$c_{2e} = c_{0e} + c_{Te} + c_{Se} \quad (5.5)$$

або 
$$c_{3e} = c_{0e} + c_{Te} + c_{Se} + c_{ORe}. \quad (5.6)$$

За виразом (5.4) в еталонному каналі використовують дистильовану воду; за формулою (5.5) – воду із заданою концентрацією неорганічних домішок; а за формулою (5.6) – із заданою концентрацією неорганічних та органічних домішок.

У першому випадку, використовуючи диференціальний метод, визначаємо швидкість звуку за виразом

$$c - c_{1e} = c_S + c_P + c_{TSP} + c_{OR} + c_b + c_z + c_v + c_g. \quad (5.7)$$

У другому випадку

$$c - c_{e2} = Dc_S + c_P + c_{TSP} + c_{OR} + c_b + c_z + c_v + c_g. \quad (5.8)$$

У третьому

$$c - c_{e3} = Dc_S + c_P + c_{TSP} + Dc_{OR} + c_b + c_z + c_v + c_g. \quad (5.9)$$

Деяко менший вклад у сумарну швидкість звуку дає швидкість течії, максимальне значення якої становить до 3 м/с. Тому потрібно її враховувати. Тиск впливає на швидкість звуку тільки на великих глибинах; за досліджень забруднення у верхньому (діяльному) шарі води, складник  $c_P$  можна знехтувати. Компоненти  $c_b$  і  $c_z$  за літературними даними не перевищують 0,1 м/с. Ще менші значення складників  $c_{TSP}$  та  $c_g$ .

Отже, обґрунтовано можливість визначення загальної концентрації домішок за різницею швидкостей у досліджуваному та еталонному каналах у водному середовищі.

Розглянемо випадок, коли водне середовище містить тільки неорганічні домішки, тобто розчини солей. Одним з таких середовищ є морська вода. Як вже вказувалося раніше, зараз концентрацію солей у воді обчислюють за формулою Дель-Гроссо, що передбачає вимірювання тиску, температури і швидкості звуку. За цим методом необхідно визначити три термодинамічні параметри води.

Нижче подамо акустичний метод вимірювання домішок у водному середовищі. Швидкість звуку є функція не тільки концентрація солей у воді, але й, чого треба позбутися, температури та глибини. Тому досліджуване та еталонне середовища одночасно опромінювали акустичними хвилями і вимірювали часи поширення сигналів між перетворювачами, розташованими

в кожному з них [180, 192]. Відстань між акустичними перетворювачами в обох середовищах однакова і рівна  $L$ .

Швидкість звуку в еталонному  $c_e$  та досліджуваному  $c_d$  середовищах визначають емпіричні вирази

$$c_e = c_0 + b_1 t_e - b_2 t_e^2 + b_3 S_e + b_4 H_e, \quad (5.10)$$

$$c_d = c_0 + b_1 t_d - b_2 t_d^2 + b_3 S_d + b_4 H_d, \quad (5.11)$$

де  $c_0$  – швидкість звуку за  $T=0^\circ\text{C}$ ;  $c_0=1410$  м/с;  $H$  – глибина встановлення первинних акустичних перетворювачів, м;  $b_1=4,21$ ;  $b_2=0,037$ ;  $b_3=1,14$ ;  $b_4=0,0175$ .

Нехай температура і глибина встановлення первинних акустичних перетворювачів у середовищах однакові, тобто  $t_e=t_d$  і  $H_e=H_d$ . Тоді різниця швидкостей звуку буде пропорційна різниці концентрації солей  $S$  цих рідин:

$$c_d - c_e = b_3(S_d - S_e). \quad (5.12)$$

Виразимо швидкості  $c_e$  та  $c_d$  через часи поширення звуку  $t_e$  і  $t_d$ :

$$c_e = L/t_e \text{ і } c_d = L/t_d,$$

де  $L$  – віддаль між поверхнями відбивань.

Тоді

$$b_3(S_d - S_e) = L(t_e - t_d) / (t_e \times t_d). \quad (5.13)$$

Якщо еталонною рідиною є дистильована вода (тобто  $S_e=0$ ), то концентрацію солей визначимо зі співвідношення

$$S_d = L t_x / c(t_e t_d), \quad (5.14)$$

$$\text{де } t_x = t_e - t_d. \quad (5.15)$$

Отже, щоб визначити концентрацію домішок у воді, потрібно виміряти довжину бази  $L$ , часи поширення акустичних сигналів в еталонному  $t_e$  та досліджуваному  $t_d$  середовищах та їх різницю  $t_x$ . Перевагами пропонованого



методу є можливість знайти концентрацію солей у воді в реальному часі, незалежно від температури та тиску води.

Акустичним методом визначають концентрації нерухомих рідин. Тому його можна також рекомендувати для різних технологічних процесів.

Зміну концентрацій розчинених у воді забруднювальних речовин та завислих частинок можливо досліджувати одночасно декількома методами, як оптичними, так і акустичними, що дасть можливість підвищити чутливість і швидкість визначення концентрацій, розширити динамічний діапазон, вимірювати вміст неорганічних та органічних речовин [193].

### **5.2.2. Дистанційний екологічний моніторинг території гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації**

Сучасні світові тенденції розвитку космічних технологій свідчать про те, що ДЗЗ належить до категорії найважливіших напрямів. Використання цифрових технологій обробки космічних знімків дозволяє перейти до повністю або частково цифрового потоку даних ДЗЗ [194].

Використовуючи дані сайту <https://earthengine.google.com/timelapse/>, у якому подано космознімки території Роздільського ДГХП "Сірка" з 1985 по 2018 рр., нами проаналізовано природний стан та негативні екологічні зміни досліджуваної території у зв'язку з антропогенізацією (рис. 5.5–5.7).

Як видно із космознімків, озеро Середнє почало формуватися в 1989 р. Озеро Чисте почало формуватися в 1997 р., а озеро Глибоке – в 2003 р. У 2009 р. рівень затоплення оз. Глибокого сягнув 252,4 м. У порівнянні з 1989 р. за 10 років оз. Середнє збільшило свою площу приблизно в 2 рази. З 2003 року донині втричі збільшилася площа оз. Глибокого.

За допомогою аналізування космознімків встановлено, що площа залишків комової сірки за останні 12 років суттєво зменшилася.

Унаслідок горіння елементарної сірки утворюється сірчистий газ. Ділянки горіння маркуються оплавленою поверхнею, а площа складування

комової сірки за останні 12 років, за даними аналізу космознімків суттєво зменшилася (рис. 5.8) [195].



1985



1986



1989



1993



1994



1997

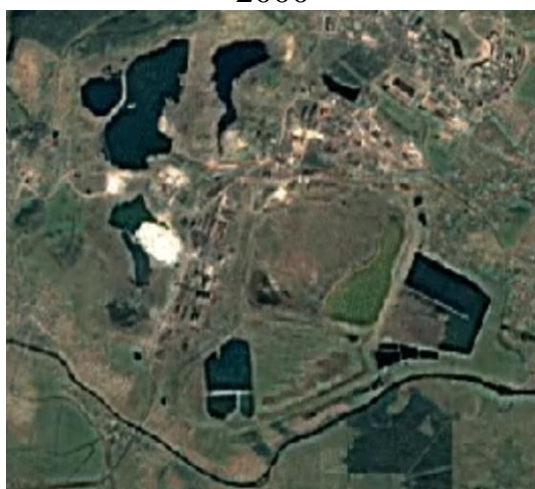
**Рис. 5.5.** Космознімки Роздільського ДГХП "Сірка"



2000



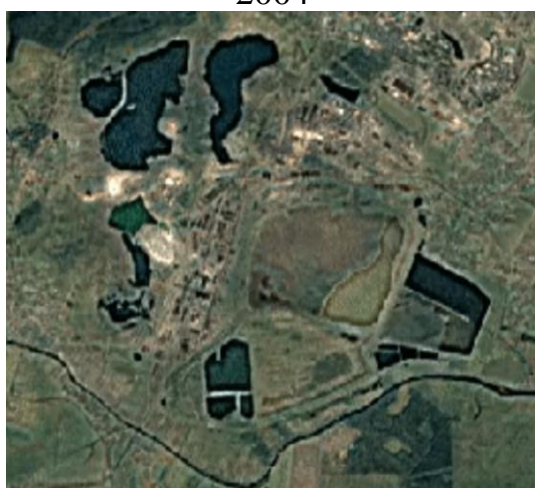
2003



2004



2005



2008



2010

**Рис. 5.6.** Космознімки Роздільського ДГХП "Сірка"



2012



2016



2017



2018

**Рис. 5.7.** Космознімки Роздільського ДГХП "Сірка"



**Рис. 5.8.** Зменшення площі складування комової сірки за рахунок її вигорання за останні 12 років, встановлене на основі аналізу космознімків 2004 р. (зліва) та 2016 р. (справа)

У зв'язку з тим, що моніторинг за станом атмосферного повітря території підприємства і сусідніх населених пунктів не проводився і не проводиться,

можна використати веб-платформу Giovanni. Основні аналітичні функції, що виконуються Giovanni, виконуються системою аналізу та відображення сітки (GrADS). На цій платформі відображаються просторово-прив'язані дані із супутників NASA у різних форматах, включаючи анімацію, площинну візуалізацію, часові ряди, усередненні значення (меридіональні та зональні), вертикальні профілі тощо [196].

Картографічно відображено концентрацію діоксиду азоту в атмосферному повітрі тропосфери на територію Роздільського ДГХП "Сірка" (рис. 5.9) за період 2012-2020 рр. та візуалізовано динаміку кількості діоксиду азоту на цю ж територію за такий самий період у вигляді графіка (рис. 5.10) [197].

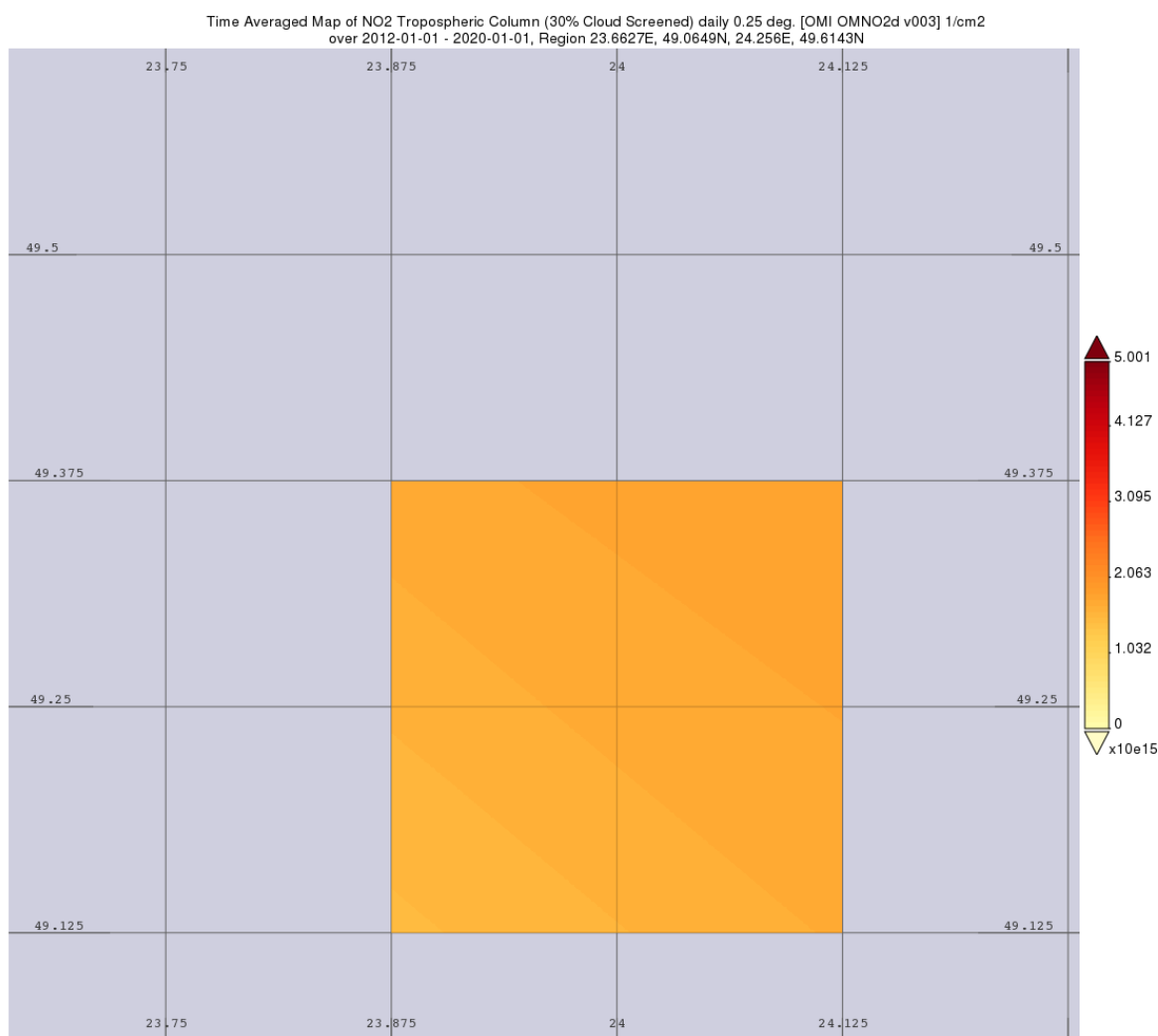
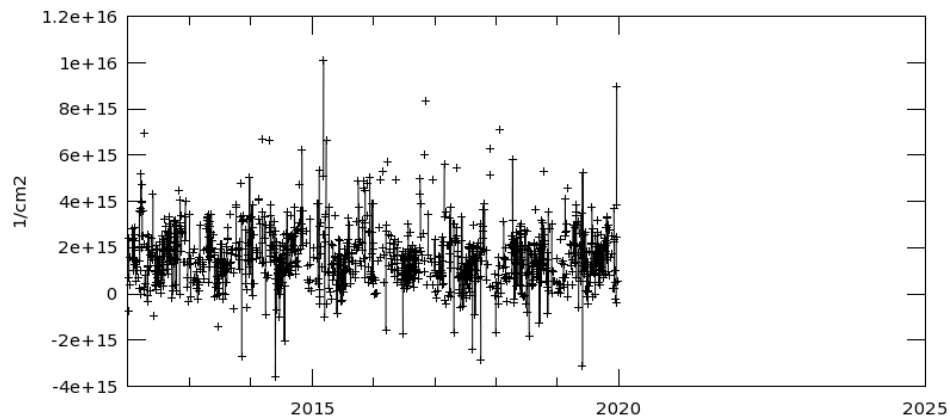


Рис. 5.9. Картографічне відображення зонального поділу за концентрацією NO<sub>2</sub> на території підприємства

Time Series, Area-Averaged of NO<sub>2</sub> Tropospheric Column (30% Cloud Screened) daily 0.25 deg. [OMI OMNO2d v003] 1/cm<sup>2</sup> over 2012-01-01 - 2020-01-01, Region 23.6627E, 49.0649N, 24.256E, 49.6143N



- The user-selected region was defined by 23.6627E, 49.0649N, 24.256E, 49.6143N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 23.875E, 49.125N, 24.125E, 49.375N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Рис. 5.10. Динаміка кількості NO<sub>2</sub> на території підприємства

### 5.3. Інформаційно-аналітична система моніторингу території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації

Ліквідація гірничо-хімічного підприємства залишає за собою низку екологічних проблем.

У випадку відсутності належного та вчасного фінансування рекультиваційних робіт необхідною умовою залишається питання вивчення процесів самовідновлення елементів довкілля: гідрогеологічний режим регіону, активізація зсувонебезпечних процесів. Контроль якості вод та ґрунтів залишається першочерговим завданням у післяліквідаційний період [198, 7, 199].

Принципи екологічного моніторингу гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації як у теоретичному і науково-методичному відношеннях, так і у плані матеріально-технічного та фінансового забезпечення не розроблено. Ця проблема знаходиться лише на початковій стадії розв'язання. Необхідність наукового обґрунтування системи моніторингу у районі колишньої діяльності гірничого виробництва, де мозаїка техногенезу є дуже складною, потребує

використання різноманітних теоретичних положень, понять та методичних засобів таких наук [200, 201, 58].

У зв'язку з тим, що на території залишаються джерела небезпеки, є необхідним екологічний моніторинг компонентів довкілля і власне джерел небезпеки. Прийняття ж якихось рішень щодо управління ґрунтами, водними ресурсами, промисловими чи побутовими відходами та прогнозування наслідків їх впливу на навколишнє середовище вимагає володіння усією цією інформацією одночасно. Отже, слід створити єдину автоматизовану інформаційну систему та налагодити імпорт до неї даних з відомчих баз даних моніторингу та кадастрів. Світовий досвід довів, що найкраще таку систему створювати на базі геоінформаційних технологій.

Стратегія керованого контролю і моніторингу базується на постановці проблеми, яка відображає зміст задачі в межах досліджуваної частини довкілля. Основні стратегічні завдання контролю й моніторингу території впливу гірничопромислового комплексу є, зокрема, дослідження розвитку геодинамічних процесів, з виділенням зон напружено-деформованого стану гірських порід, оцінювання стану поверхневої і підземної гідросфери, спостереження та оцінювання геохімічних параметрів. Рішення тактичних завдань визначає деталізацію стратегічного оцінювання системи до вибору обґрунтованих умов взаємодії або інформаційних комірок відповідного масштабу. Фактичним матеріалом, покладеним в основу розробки тактики керованого контролю, є результати геологічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних досліджень [202, 203].

Роздільське ДГХП "Сірка" знаходиться на стадії ліквідації, але все ще несе загрозу довкіллю. Тому є необхідність в створенні інформаційно-аналітичної системи моніторингу.

IАСМ – це комп'ютерна система, за допомогою якої можна отримати, створити інформацію та здійснити її опрацювання та аналізування.

Опрацювання та аналізування – не єдині переваги інформаційно-аналітичної системи. Вона може забезпечувати і прогнозування – визначення

наслідків ситуації. Функція прогнозування передбачає можливі зміни в довкіллі на підставі даних про поточний екологічний стан території підприємства.

Метою такої системи є ефективне зберігання, оброблення та аналізування даних.

Організацію системи моніторингу на об'єктах гірничого виробництва залежно від видів впливу необхідно розглядати за джерелами екологічного впливу, оскільки кожне джерело може мати декілька видів впливу на елементи біосфери. Створення такої системи є важливим кроком до підвищення екологічної безпеки території, бо вчасно надана інформація про екологічний стан забезпечує вчасного усунення проблеми з мінімальними ризиками і наслідками [204].

ІАСМ Роздільського ДГХП "Сірка" призначено для аналізування змін таких параметрів, які можуть бути підсистемами в ІАСМ:

- ґрунтів;
- промислових відходів;
- екзогенних геологічних процесів (зсуви, підтоплення, заболочення, просідання);
- поверхневих вод;
- підземних вод.

Є безліч переваг впровадження різних підсистем ІАСМ гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації на прикладі Роздільського ДГХП "Сірка". Для отримання необхідної інформації при інформаційно-аналітичній підсистемі моніторингу ґрунтів застосовують ДЗЗ, наземні зйомки-спостереження, фондові дані [156]. Підсистема моніторингу ґрунтів Роздільського ДГХП "Сірка" дозволить вчасно відреагувати на несприятливі зміни складу ґрунтів території, спрогнозувати та змодельовати процес міграції важких металів у ґрунтах, та зменшити область забруднення.

Система проведення екологічного моніторингу ґрунтів Роздільського ДГХП "Сірка" дозволить вчасно відреагувати на несприятливі

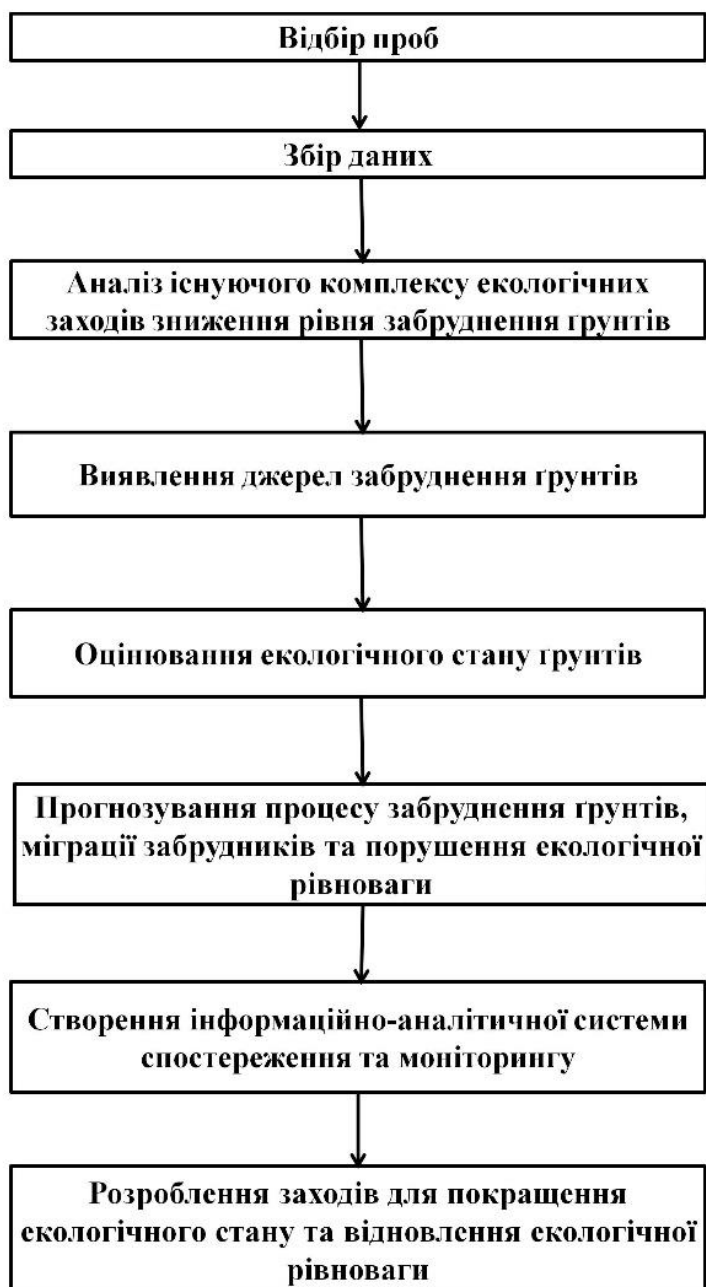


зміни складу ґрунтів території, спрогнозувати та змодельовати процес міграції важких металів у ґрунтах, та зменшити область забруднення (рис. 5.11) [205].

Важливим в інформаційно-аналітичній підсистемі промислових відходів є створення інформаційної бази – інформація про утворення, наявність, видалення та використання промислових відходів, розміщення об'єктів техногенного впливу, якими є гірничі виробки, зони накопичення промислових відходів з короткою інформацією кожного з них (висота (м), ширина (м), площа (м<sup>2</sup>), об'єм складеної породи (м<sup>3</sup>)) та зміна їх кількості та розмірів у часі. Також важливою є інформація про склад та безпеку відходів для елементів довкілля [206]. Результатом проведених досліджень є карти з виділенням зон техногенного впливу кожного джерела. Ця інформація є складовою ІАСМ по території комплексу на період завершення експлуатації. Частина інформації буде представляти наявні екологічні втрати природно-техногенної системи, наприклад виділенні зони закислення (глибина, площа, інтенсивність розповсюдження, ареали забруднення ґрунтів, ґрунтових вод, провали (глибина (м), діаметр (м), кут відкосу (градус), площа (м<sup>2</sup>)).

Використання в інформаційно-аналітичній підсистемі моніторингу екзогенних геологічних процесів дистанційні методи дослідження дозволить за рахунок аерокосмічних зйомок земного простору отримати картину еколого-геологічного стану територій [207, 79, 80, 81].

Екологічний моніторинг водних об'єктів території підприємства аналогічно системі проведення екологічного моніторингу ґрунтів повинен базуватися на (рис. 5.11): відборі проб, зборі даних, аналізі існуючого комплексу екологічних заходів зниження рівня забруднення водних об'єктів, виявленні джерел забруднення водних об'єктів, оцінюванні екологічного стану водних об'єктів, прогнозуванні процесу забруднення водних об'єктів та порушення екологічної рівноваги, створенні інформаційно-аналітичної або геоінформаційної системи спостереження та моніторингу, розробленні заходів для покращення екологічного стану та відновлення екологічної рівноваги [208].



**Рис. 5.11.** Процедура проведення екологічного моніторингу ґрунтів

Екологічний моніторинг водних об'єктів Роздільського ДГХП "Сірка" є актуальним і важливим, бо на гідроспорудах підприємства накопичено критичний об'єм рідини, що спричиняло періодичний аварійний скид забруднених виробничих і рудних вод у р. Дністер. Продовжується інтенсифікація зсуву по північному борту кар'єру в с. Малехів, що загрожує східній та північній дамбам хвостосховища №2.

Моніторинг підземних вод гірничо-хімічного підприємства є важливою складовою в системі екологічного моніторингу, що, в свою чергу, є надзвичайно важливим для підвищення екологічної безпеки довкілля. Тому, потрібно терміново розпочати впровадження заходів, які б дали змогу оцінити сучасний стан мережі спостережних свердловин, відновити спостереження на вцілілих свердловинах, удосконалити нормативно-методичне забезпечення, реалізувати низку організаційних заходів для координації дій суб'єктів моніторингу й забезпечення ефективнішого використання інформації, що стосується стану підземних вод [209].

IАСМ водного середовища гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації уможлиблює:

- формування державних інформаційних ресурсів обліку водних об'єктів для подальшого аналізу, прогнозування та вироблення управлінських рішень;

- своєчасне виявлення негативних змін стану водних об'єктів;

- спрощення доступу до інформації про стан водних об'єктів.

На території Роздільського ДГХП "Сірка" об'єктами системи моніторингу є відходи (відвал фосфогіпсу, хвостосховища, майданчик з гудронним модифікатором, полігон побутових відходів), ґрунти, водні об'єкти, екзогенні геологічні зміни. Для реалізації основних завдань системи моніторингу необхідним є:

- набір складових систем для реєстрації стану обраних характеристик елементів довкілля, що контролюються;

- аналіз отриманих результатів, їх перетворення і розподіл;

- використання сформованої бази даних.

У кожному із вказаних етапів існує потреба адаптації прийнятого методу до специфіки явища, що піддається моніторингу, властивостей елементу довкілля під впливом цього явища. Усе це вимагає оцінювання технічних та аналітичних можливостей, у зв'язку з чим, важливе значення відводиться розробленню та проектуванню системи моніторингу, яка б забезпечила

найбільш ймовірну оцінку поведінки вибраного явища з найменшими фінансовими затратами [49, 210, 211, 67, 159, 119, 98, 156, 77].

Для моніторингу гірничо-хімічного комплексу можна також використовувати різні сенсори. Прикладом можуть служити флюоресцентні біосенсори на основі ферментів. Цей тип сенсора використовується в клінічній діагностиці, охороні і захисті довкілля, а також у тих областях, де необхідні швидкі та надійні вимірювання [212].

Для прогнозування змін рівня екологічної безпеки території гірничо-хімічного підприємства в ролі підсистем до ІАСМ гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації мають досліджуватись всі джерела екологічної небезпеки досліджуваної території.

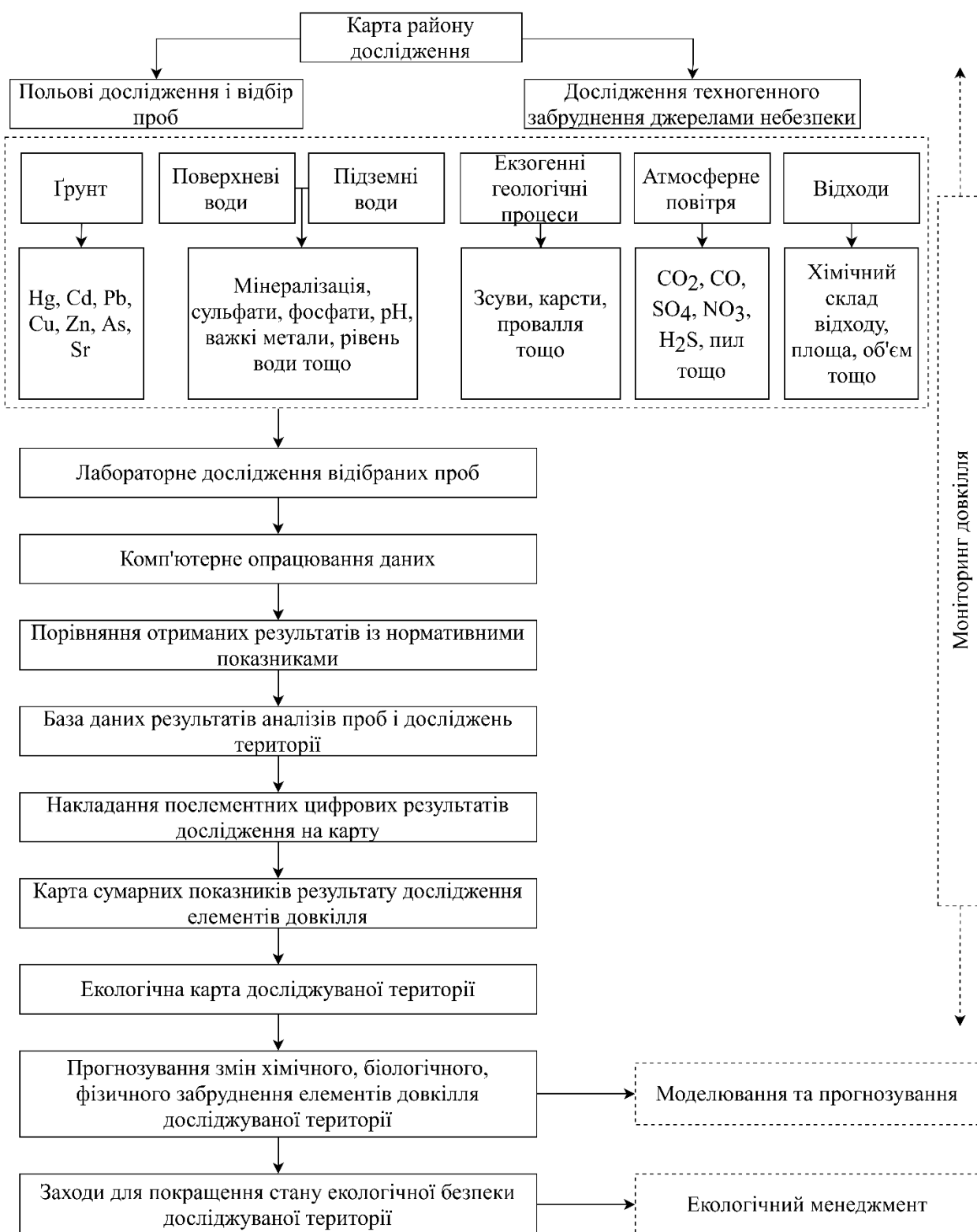
Система має складатись із банку даних, геоінформаційної карти та програмного забезпечення. Програмний продукт поєднує базу даних системи з електронним картографічним забезпеченням, забезпечує пошук об'єктів на геоінформаційній карті, перегляд відомостей про об'єкти моніторингу, аналізування даних про якість компонентів довкілля, джерела небезпеки гірничо-хімічного підприємства, автоматизоване нанесення на карту місць розташування точок відбору проб, скидів, водозаборів, побудову тематичних карт та ін. (рис. 5.12).

Картографічною базою для розроблення стратегії керування є низки карт, що характеризують стан різноманітних елементів навколишнього середовища, так наприклад карта ураженості території екзогенними геологічними процесами, карта оцінки фонового техногенного навантаження на довкілля. Зручним варіантом може слугувати геоінформаційна система QGIS з вільним доступом і відкритим кодом. Система є багатофункціональною, написана на мовах програмування C++ та Python. Основним призначенням системи є опрацювання і аналізування просторових даних, розроблення різної картографічної продукції. Геоінформаційна система QGIS дає змогу користувачам створювати карти з безліччю шарів, використовуючи різні картографічні проекції. Карти можуть бути зібрані в

різні формати і використовуватися з різною метою. У системі QGIS карти можуть складатися з растрових або векторних шарів. Типовими для такого роду програмного забезпечення, векторні дані зберігаються як точка, лінія, полігон. Підтримуються різні види растрових зображень. Програмне забезпечення може виконувати геоприв'язку зображень. Також QGIS забезпечує інтеграцію з іншими відкритими ГІС-пакетами. Плагіни, написані на Python, C++, розширюють можливості QGIS. Є плагіни для геокодування за допомогою Google Геокодування API, виконання геообробки (fTools) схожими на стандартні інструменти ArcGIS, інтерфейс з PostgreSQL/PostGIS, SpatiaLite і MySQL баз даних, і використання Mapnik як карту візуалізації [213].

Під час функціонування ІАСМ їх діяльність має здійснюватися за такими напрямками:

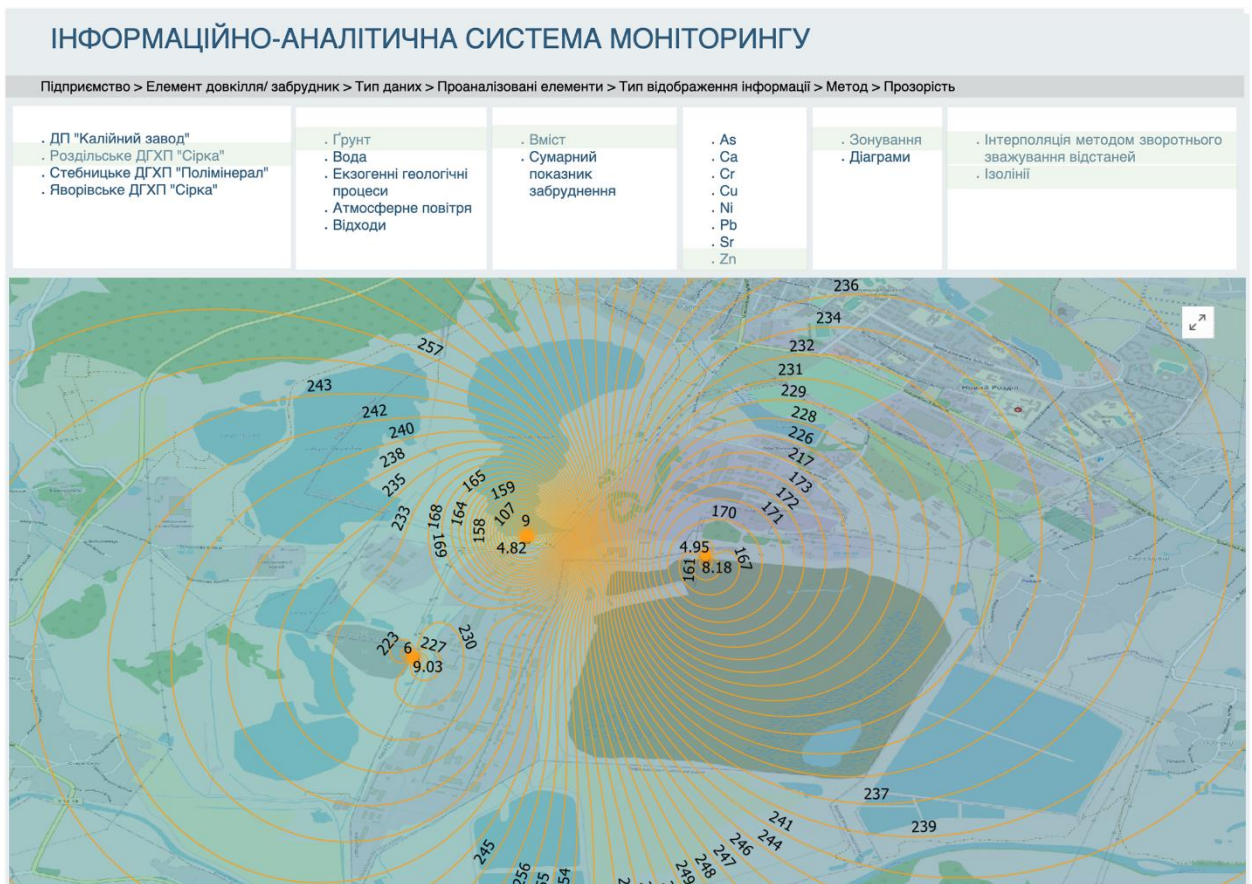
1. збір та ведення оперативної, нормативної інформації та класифікаторів;
  2. оперативний аналіз інформації;
  3. ретроспективний аналіз інформації;
  4. системно-аналітична діяльність з організації процесів прийняття рішень;
  5. підтримка документообігу;
  6. підтримка повсякденної внутрішньої діяльності;
  7. захист даних;
  8. технологічна підтримка діяльності інформаційно-аналітичних центрів
- [214].



**Рис. 5.12.** Загальна схема ІАСМ гірничо-хімічного підприємства в післяліквідаційний період

Усі розрахунки і опрацювання даних здійснюються за допомогою засобів інформаційних онлайн технологій, що забезпечують точність отриманих результатів. Тому специфіку розрахунків закладено в програмне забезпечення.

Картографічною базою ІАСМ є [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org), OpenStreetMap. Для прикладу здійснювався пошук вмісту Zn у ґрунтах території Роздільського ДГХП "Сірка" і зонування за вмістом Zn у ґрунтах за допомогою інтерполяції методом зворотнього зважування відстаней (рис. 5.13).

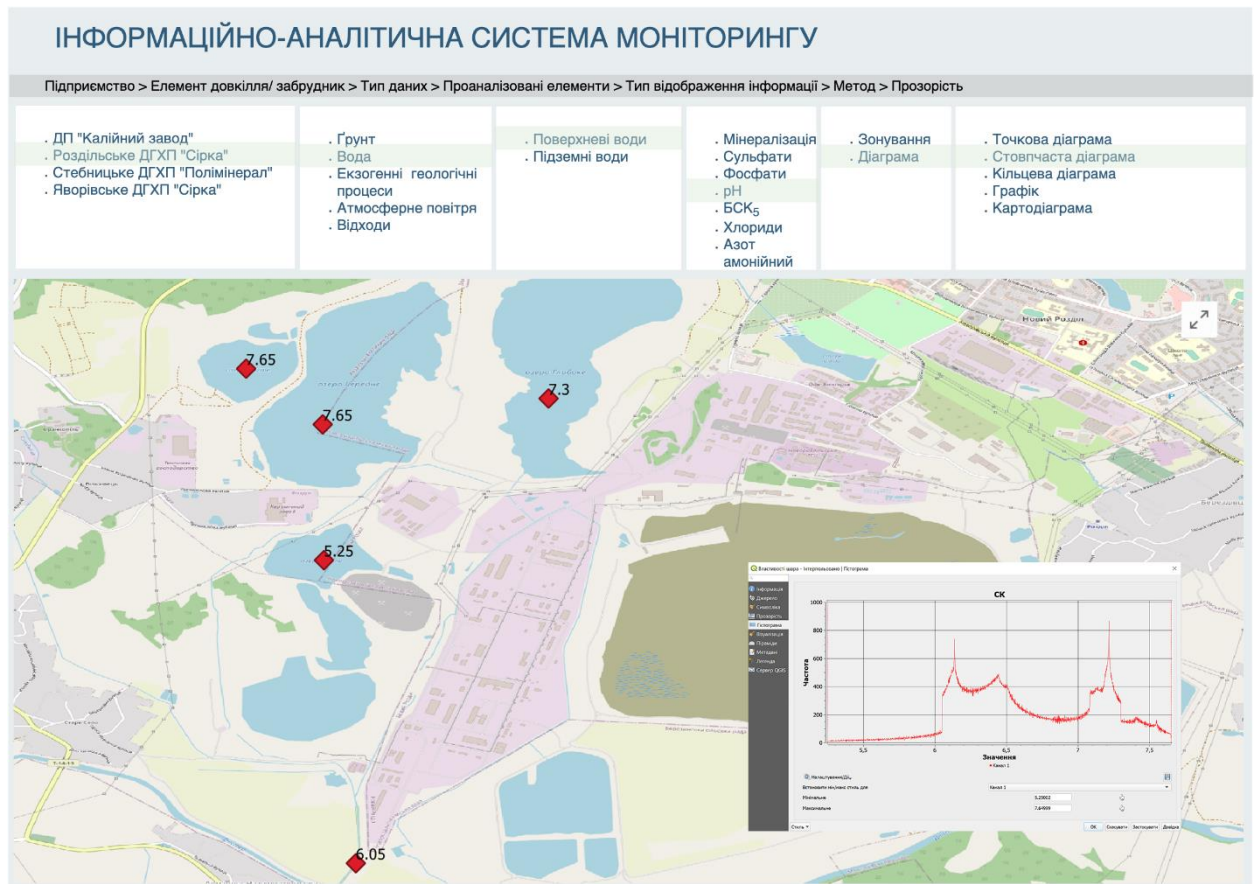


**Рис. 5.13.** Відображення зонування по вмісту Zn у ґрунті Роздільського ДГХП "Сірка" в ІАСМ. Джерело: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org), OpenStreetMap та QGIS

Сукупність ізоліній на карті, які розраховано за допомогою онлайн технологій програмного забезпечення, геоінформаційній системі QGIS, дає наочне уявлення про розподіл Zn в горизонтальній площині згідно даних про

вміст Zn у ґрунті, які були наявні в базі. Аналогічно Zn можна здійснювати пошук за в містом інших елементів, які є в базі.

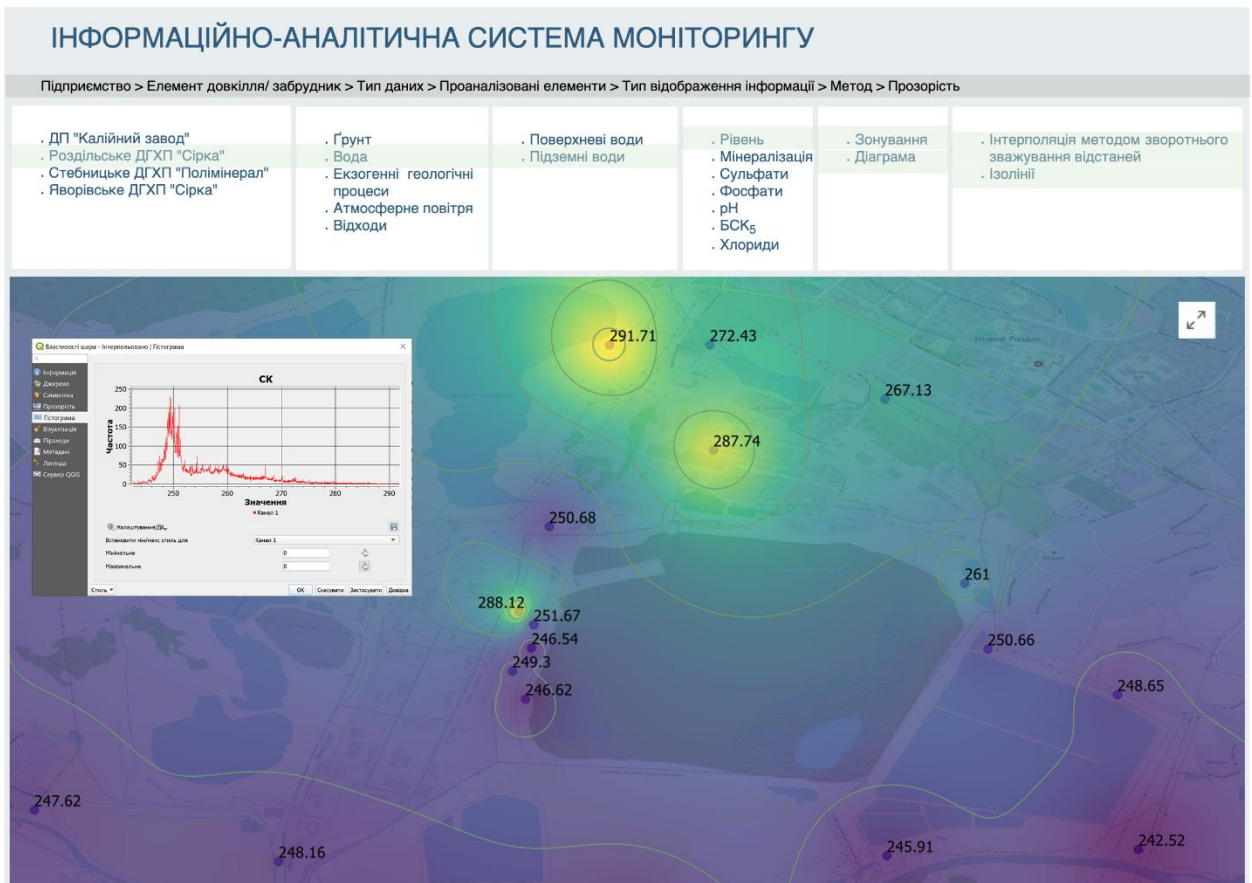
Аналізувати рівень забруднення можна не тільки за ґрунтами, а й за водним середовищем. На рис. 5.14 зображено точки відбору проб і результати лабораторних вимірювань рівня рН у водних об'єктах Роздільського ДГХП "Сірка".



**Рис. 5.14.** Відображення в ІАСМ даних про рівень рН у водних об'єктах підприємства. Джерело: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org), OpenStreetMap та QGIS

ІАСМ забезпечить єдиний інформаційний простір, тому можна аналізувати інформацію з різних джерел і баз даних. Наприклад, в ІАСМ можна відобразити дані про рівень підземних вод (рис. 5.15), які були наведені у Звіті про науково-дослідну роботу "Відновлення природної якості поверхневих і ґрунтових вод та усунення шкідливої дії води в зоні діяльності Роздільського ДГХП "Сірка" [215].





**Рис. 5.15.** Зображення даних про рівень підземних вод в ІАСМ. Джерело: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org), OpenStreetMap та QGIS

Отже, створення ІАСМ Роздільського ДГХП "Сірка" дасть змогу:

- підвищити рівень вивчення і знань про екологічний стан території;
- сприяти оперативності та якості інформаційного забезпечення зацікавлених користувачів на всіх рівнях;
- надійно і якісно обґрунтувати природоохоронні заходи та підвищити ефективність їх здійснення;
- прогнозувати зміни навколишнього середовища;
- знизити рівень екологічної небезпеки підприємства та прилеглих до неї територій [216].

На прикладі інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу території Роздільського ДГХП "Сірка" можна створити інформаційно-аналітичну систему гірничих та гірничо-хімічних підприємств України. Перелік підсистем в ІАСМ може бути доповнений відповідно до

видів діяльності підприємств, а також запитів для точнішого і достовірнішого аналізування і прогнозування змін довкілля, і, головне, для підвищення рівня екологічної безпеки.

#### **5.4. Висновки до розділу 5**

1. Встановлено, що суттєво покращить стан екологічної безпеки в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" влаштування системи фільтрувальних дамб з карбонатних матеріалів, що буде обумовлювати нейтралізацію кислих вод та зв'язування важких металів в нерозчинні сполуки і буде слугувати запобіжним заходом для потрапляння кислих вод з озера Кисле в русло р. Дністер.

2. Зміну концентрацій розчинених у воді забруднювальних речовин та завислих частинок можливо досліджувати одночасно декількома методами, як оптичними, так і акустичними, що дасть можливість підвищити чутливість і швидкість визначення концентрацій, розширити динамічний діапазон, вимірювати вміст неорганічних та органічних речовин.

3. За допомогою аналізування космознімків встановлено, що площа залишків комової сірки за останні 12 років суттєво зменшилася.

4. Необхідною організаційно-методичною та матеріально-технічною основою керування процесами формування та розвитку природно-техногенної системи гірничо-хімічного підприємства є створення ІАСМ, що складає комплекс направлених заходів по накопиченню та ефективному використанню різнохарактерної інформації. Структура цієї системи реалізується через безпосередній збір інформації, використання її початкових видів оцінки стану об'єктів та вирішення задач регулювання та ефективного керування процесів, які формуються. На основі інформаційно-аналітичної системи вирішуються завдання: оптимального нормування, раціонального планування, оперативного та довгострокового прогнозування показників стану системи і,

найголовніше, покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

5. Для оцінювання результатів лабораторних досліджень запропоновано схему, яка дасть змогу автоматично аналізувати і показувати якісний стан досліджуваних об'єктів.

Результати розділу 5 опубліковано у наукових працях [186], [193], [195], [202], [203], [204], [205], [206], [208], [209], [216].

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання покращення стану екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації системою комплексного екологічного моніторингу.

Одержано такі основні наукові і практичні результати:

1. На основі вітчизняних та закордонних літературних джерел виявлено основні екологічні проблеми, що виникли в районах видобутку сірки, тенденції розвитку методів та систем управління відходами гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації та обґрунтовано необхідність удосконалення підходів щодо створення ефективної системи їх екологічної безпеки.

2. Розроблено засади екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації, в основу яких покладено принцип комплексного екологічного моніторингу, та прогнозування з допомогою геоінформаційних технологій, що дало змогу покращити її стан.

3. Експериментально отримано показники забруднення важкими металами ґрунтів на території Роздільського ДГХП "Сірка" біля основних джерел небезпеки та встановлено перевищення ГДК за Sr (у 6 разів), Pb (у 1,5 разів), As (у 6 разів).

4. Оцінено якість води у поверхневих водоймах за інтегральним екологічним індексом і встановлено, що водні об'єкти Роздільського ДГХП "Сірка" належать до вод із задовільним (р. Дністер вище і нижче скидів підприємства), поганим (канал оз. Глибоке – Дністер) і дуже поганим (канал відходу дощових вод) екологічним станом. Експериментально зафіксовано перевищення нормативних показників у всіх техногенних озерах підприємства за мінералізацією та сульфатами, в оз. Кислому та оз. Середньому – і за фосфатами, в оз. Кислому рН становить 5,25; у каналі оз. Глибоке–Дністер за такими показниками: рН – 6,05, сульфатами – у 16,65 разів, азотом амонійним – 9,1 рази, мінералізацією – 2,5 рази. Встановлено перевищення рівня БСК<sub>5</sub>,

сульфатів та ГДК амонію сольового у пробах води у р. Дністер вище і нижче скидів з підприємства, що призводить до негативного впливу на транскордонну р. Дністер.

5. Розроблено рекомендації для забезпечення екологічної рівноваги в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка": проведення регулярних моніторингових спостережень, утримання, нагляд та контроль за станом гідротехнічних споруд, ліквідація джерел забруднення – складу гудронів, полігону побутових відходів, складу комової сірки, відвалів фосфогіпсу, рекультивация порушених земель території заводу мінеральних добрив.

Встановлено, що суттєво покращить стан екологічної безпеки в зоні впливу Роздільського ДГХП "Сірка" влаштування системи фільтрувальних дамб з карбонатних матеріалів, що буде слугувати запобіжним заходом для потрапляння кислих вод з озера Кисле в русло р. Дністер.

6. Запропоновано для покращення стану екологічної безпеки території методи створення інформаційно-аналітичної системи моніторингу гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації, яка забезпечить підвищення рівня вивчення і знань про екологічний стан території, сприяння оперативності та якості інформаційного забезпечення зацікавлених користувачів на всіх рівнях, надійне і якісне обґрунтування природоохоронних заходів та підвищення ефективності їх здійснення, прогнозування змін навколишнього середовища, усунення екологічних проблем з мінімальними ризиками і наслідками.

7. Результати роботи впроваджено у ТзОВ "Інститут "ГІРХІМПРОМ"" для інвентаризації накопичених промислових відходів на території Роздільського ДГХП "Сірка", Департаменті екології природних ресурсів Львівської облдержадміністрації, в кафедральну тему та у навчальний процес підготовки фахівців за спеціальністю 183 "Технології захисту навколишнього середовища" на кафедрі екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету "Львівська політехніка".

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Є. А. Іванов, «Алгоритм геоекологічного аналізу гірничопромислових територій,» в *Треті Сумські наукові географічні читання: збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції*, Суми, 2018.
- [2] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Виснаження природних ресурсів і забруднення довкілля як єдиний процес,» *Семінар "Сталий розвиток - погляд у майбутнє": збірник матеріалів до 60-річчя доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри екології та збалансованого природокористування, заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого*, 15 вересня 2017 р., с. 30.
- [3] В. С. Білецький, *Гірничий енциклопедичний словник* : у 3 т., т. 3, Б. В.С., Ред., Дніпропетровськ: Східний видавничий дім, 752 с., 2004.
- [4] K. Yelapaala, "Mining, Sustainable Development and Health in Ghana: The Akwatia Case Study," *Kaakpema Yelapaala*, vol. 1, no. 2, pp. 28-33, 2004.
- [5] В. І. Левик, «До історії вивчення посттехногенного періоду розвитку відвалів Передкарпатського сірконосного басейну,» *Наукові основи збереження біотичної різноманітності: тематичний щорічник*, № 7, с. 171-175, 2006.
- [6] *Kopalnia Siarki "Osiek": Dodatek Nr 2 do Projektu Zagospodarowania Złoża Siarki "Osiek", Osiek 2007.*
- [7] S. Kowalik, M. Gajdowska i J. Herczakowska, «Problem ochrony środowiska w górnictwie otworowym na przykładzie Kopalni i Zakładów Chemicznych Siarki „Siarkopol” S.A. - kopalnia „Osiek”,» *Budownictwo Górnicze i Tunelowe, Kwartalnik naukowo-techniczny*, № 2, pp. 23-27, 2009.
- [8] В. С. Білецький, *Мала гірнича енциклопедія*. Том 3, Дніпропетровськ: Східний видавничий дім, 2004-2013.
- [9] М. Г. Новожилов, *Сера Предкарпаття*. Сборник, Львов: Каменяр, 206 с., 1967.

[10] Б. В. Мерлич и Н. М. Даценко, Условия образования серных руд Роздольського месторождения, Львов: Львов. гос. ун-т. им. Ив. Франка, Изд. объедин. "Выща школа", 220 с., 1976.

[11] М. Т. Гончар, Экологические проблемы сельскохозяйственного производства, Львов: Вища школа, 144 с., 1986.

[12] С. С. Малимон, Основы екології: підручник, Вінниця: Нова Книга, 240 с., 2009.

[13] В. М. Самилін та В. С. Білецький, Спеціальні методи збагачення корисних копалин, Донецьк: Східний видавничий дім, 116 с., 2003.

[14] Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», «Щорічник "Мінеральні ресурси України",» Київ, 2018.

[15] А. Гайдін, В. Ковалишин, І. Салюк та І. Шакіна, «Науково-технічне обґрунтування проекту рекультивації порушених гірничими роботами земель рішень по відновленню екологічної рівноваги і порушеного ландшафту шляхом поетапного виведення потужностей кар'єрів Яворівського ДГХП „Сірка”,» Львів, 96 с., 1997.

[16] «Стан запасів родовищ корисних копалин України,» [Онлайновий]. Available: <http://geoinf.kiev.ua/stan-zapasiv-rodovyshch-korysnykh-kopalyn-ukrayiny/>.

[17] *Закон України Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 року від 22 лютого 2006 року №3458–IV.*

[18] T. Bereda, *Siarka. Informacja z www Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Geologii Gospodarczej.*

[19] M. Pertkiewicz-Piszcz, «Technologia nieorganiczna: kwas siarkowy,» [Онлайновий]. Available: [http://www.technologia.gda.pl/dydaktyka/08-09/2/lectures/tchn/pdf/kwas\\_siarkowy.pdf](http://www.technologia.gda.pl/dydaktyka/08-09/2/lectures/tchn/pdf/kwas_siarkowy.pdf).

[20] Гірничо-хімічна промисловість Львівщини. Історія. Сьогодення. Майбутнє. Екологія, Львів: ПП "Манускрипт-Львів", 244 с., 2004.

[21] P. A. Sanchez, "Sulfur," in *Properties and Management of Soils in the Tropics*, 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2019, p. 415–430.

[22] A. Liversidge, "Sulphur," in *The Minerals of New South Wales*, Cambridge, Cambridge University Press, 2011, pp. 157-177.

[23] A. Kelepertsis, D. Alexakis and I. Kita, "Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece," *Environmental Geochemistry and Health*, no. 23, pp. 117-135, 2001.

[24] Є. Ю. Черниш, «Наукові засади еколого-синергетичного підходу до процесу утилізації фосфогіпсу для зменшення техногенного навантаження на довкілля,» дис. докт. техн. наук, спец. 21.06.01 "Екологічна безпека", Суми, 460 с., 2019.

[25] О. М. Маринич та П. Г. Шищенко, Фізична географія України, Київ: Знання, 479 с., 2003.

[26] Я. О. Адаменко та ін., Екологічна безпека територій: колективна монографія, Івано-Франківськ: Голіней, 361 с., 2014.

[27] Г. Рудько, Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методичні основи), Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 360 с., 2001.

[28] Г. І. Рудько та Л. М. Консевич, Моніторинг процесонебезпечних територій та розрахунок ризику техноприродних аварій і катастроф, Київ: Знання, 1998.

[29] Г. І. Рудько, Є. А. Іванов та І. П. Ковальчук, Гірничопромислові геосистеми Західного регіону України: монографія у 2 томах, Київ-Чернівці: Букрек, 2019.

[30] Г. І. Рудько та А. М. Гайдін, Провали. Деформації земної поверхні над гірничими виробками і карстами, Київ-Чернівці: Букрек, 2019.

[31] Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП, Київ: Державна служба геології та надр України, Державне наукововиробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 98 с., 2018.



[32] А. М. Гайдин, «Влияние техногенной деятельности на соляной карст,» *Екологія і природокористування*, № 11, с. 42-54, 2008.

[33] А. В. Лущик, М. І. Швирло, Є. О. Яковлев та В. І. Павлюк, «Стан геологічного середовища в межах родовищ сірки та солі в Передкарпатті і Закарпатті. Моніторинг. Напрямки інженерно-екологічного довивчення,» *Матеріали 4 міжнародної науково-практичної конференції «Моніторинг. Напрямки інженерно-екологічного довивчення*, с. 9-10, 2009.

[34] Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов та Г. А. Хміль, *Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління*, Київ: Наукова думка, 542 с., 2008.

[35] К. Абашина та О. Хандогіна, *Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Утилізація промислових відходів» (для студентів 6 курсу денної форми навчання спеціальності 8.17020201 –Охорона праці (за галузями))*, Харків: ХНУМГ ім.О.М. Бекетова, 58 с., 2016.

[36] Є. Іванов, *Ландшафти гірничопромислових територій*, Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 334 с., 2007.

[37] «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року,» [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>.

[38] «Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ "Про охорону навколишнього природного середовища",» [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/conv>.

[39] Г. І. Рудько, О. М. Адаменко та Л. В. Міщенко, *Стратегічна екологічна оцінка та прогноз стану довкілля Західного регіону України: у 2 томах*, Київ-Чернівці: Букрек, 2017.

[40] В. Погребенник, В. Дяків, Е. Джумеля та М. Ковальчук, «Оцінювання сучасного стану гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації,» в *Науковий та педагогічний супровід сталого розвитку: Дискурс 2019 : колективна монографія*, С. Д. Рудишин та І. М. Коренева, Ред., Суми, Вінниченко М. Д., с. 38-55, 2019.

[41] V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, «Environmental impact of mining and chemical industry,» *Litteris et Artibus: proceedings of VII International youth science forum*, pp. 130-131, 23-25 November 2017.

[42] E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, «Environmental problems of soils during the liquidation Rozdil State Mining and Chemical Enterprise «Sirka»,» *Litteris et Artibus : proceedings of 6th International youth science forum*, 24-26 November 2016.

[43] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Антропогенний вплив на довкілля при діяльності гірничо-хімічного підприємства,» *Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, р. 15, 3-5 квітня 2018.

[44] J. M. Azcue, *Environmental Impacts of Mining Activities Emphasis on Mitigation and Remedial Measures*, Germany: Springer Science & Business Media, 300 p., 2012.

[45] R. Dulias, *The Impact of Mining on the Landscape: A Study of the Upper Silesian Coal Basin in Poland*, Poland: Faculty of Earth Sciences University of Silesia, 209 p., 2016.

[46] Р. М. Панас, *Рекультивация земель: Навчальний посібник*, Львів: Новий світ, 224 с., 2005.

[47] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Проблеми рекультивации території в зоні діяльності Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка»,» *Передумови та перспективи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу : матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції*, Полтава, с. 113-115, 28 травня 2018 р.

[48] В. П. Кучерявий та Я. Б. Щупаківський, «Проблема збереження біологічного різноманіття рослинності техногенних водойм Львівщини,» *Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць*, № 14.8, с. 361-363, 2004.

[49] A. D. Bradshaw, "Underlying Principles of Restoration," *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, no. 53, pp. 3-9, 1996.

[50] J. Nita and U. Myga-Piatek, "Krajobrazowe kierunki zagospodarowania terenów pogórnich," *Przegląd Geologiczny, Poland*, vol. 54, no. 3, pp. 256-262, 2006.

[51] М. М. Габрель, «Характеристики краєвидів як критерій рекультивациі та просторової організації деградованих територій (на прикладі залишених територій видобутку сірки в Новому Роздолі Львівської області),» *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*, № 29, с. 54-60, 2008.

[52] О. В. Пластовець та О. В. Луньова, «Рекультивација земель, зайнятих відходами збагачення,» *Екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу*, № 2, с. 22-25, 2011.

[53] О. С. Терещук, «Вплив відвалів (териконів) гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району,» *Вісник Львівського університету. Серія географічна*, № 34, с. 279-285, 2007.

[54] *Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 жовтня 2003 р. №622-р "Про затвердження проекту ліквідації сірчанних кар'єрів, відновлення екологічної рівноваги і ландшафту в зоні діяльності Роздільського ДГХП "Сірка".*

[55] Є. Іванов та В. Ключник, «Стан і перспективи розвитку конструктивної географії : матер.Всеукр. наук.-практ. конф.,» в *Моделювання розвитку небезпечних природно-антропогенних процесів у зонах затоплення сірчанних кар'єрів Передкарпаття*, Львів, 2010.

[56] Є. Іванов, «Картографування і моделювання сірчанних водойм Передкарпаття,» в *GeoTerrace-2017 : мат-ли міжнарод. наук.-техн. конф.*, Львів, 2017.

[57] В. М. Билонога, Сукцессии растительности на отвалах серных месторождений Прикарпатья: Автореф. дис. канд. биол. наук., Днепропетровск, 16 с., 1989.

[58] О. Г. Марискевич та І. М. Шпаківська, «Особливості формування ґрунтового покриву на відвалах Роздільського ДГХП "Сірка",» *Наукові записки Державного природознавчого музею НАН України*, № 16, с. 147-152, 2001.

[59] А. М. Гайдін та І. І. Зозуля, *Новий Розділ. Народжений сіркою*, Львів: Афіша, 60 с., 2011.

[60] А. М. Гайдін, «Екологічні проблеми районів видобутку калійних солей та сірки,» *Екологія та природокористування*, № 16, с. 127-131, 2013.

[61] П. Б. Міхно та Я. В. Хлян, «Модель оптимізації використання рекультивованих земель,» *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, № 1 (21), с. 241-248, 2011.

[62] Л. Я. Побережна, *"Оцінка екологічних ризиків в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств (на прикладі м. Калуш)"* автореф. дис. канд. техн. наук, 21.06.01 "Екологічна безпека", Івано-Франківськ: Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 20 с., 2016.

[63] G. Rudko and L. Shkitsa, "Ecological consequences of the activity of Western Ukraine mining complexes," *Rocznik AGH, Wiertnictwo Nafta Gaz*, vol. 19, no. 2, pp. 415-418, 2002.

[64] Л. Є. Шкіца, «Екологічна безпека гірничопромислових комплексів Західного регіону України,» автореф. дис. докт. техн. наук, спец. 21.06.01 "Екологічна безпека", Івано-Франківськ, 36 с., 2006.

[65] Г. І. Рудько та Л. Є. Шкіца, *Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів: Наук. і методолог. основи*, Івано-Франківськ: ЗАТ "НІЧЛАВА", 2001.

[66] Г. І. Рудько, *Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методичні основи)*, Львів: Львів. нац. ун-т ім. І.Франка, 2001.

[67] I. O. Трунова, «Екологічна оцінка стану забруднення ґрунтів району відвалу фосфогіпсу ВАТ «Сумхімпром» важкими металами,» *Вісник Сумського державного університету*, т. №5 (89), с. 135-138, 2006.

[68] J. Dulewski i R. Uzarowicz, «Aspekty gospodarki gruntami i rekultywacji w górnictwie siarki na tle całego przemysłu wydobywczego,» *Miesięcznik WUG*, № nr 6, p. 14, 2008.

[69] «Розпорядження голови Миколаївської районної державної адміністрації від 25 січня 2012 р. № 44 м. Миколаїв Про консервацію земель Роздільського ДГХП «Сірка»».

[70] F. Macías, R. Pérez-López, C. R. Cánovas, S. Carrero and P. Cruz-Hernandez, «Environmental Assessment and Management of Phosphogypsum According to European and United States of America Regulations,» *Procedia Earth and Planetary Science*, т. 17, pp. 666-669, 2017.

[71] E. H. Rybicka, "Impact of mining and metallurgical industries on the environment in Poland," *Applied Geochemistry*, vol. 11, no. 1-2, pp. 3-9, 1996.

[72] M. Pietrzykowski та J. Likus-Cieślik, «Comprehensive Study of Reclaimed Soil, Plant, and Water Chemistry Relationships in Highly S-Contaminated Post Sulfur Mine Site Jeziórko (Southern Poland),» *Sustainability*, т. 10, № 2442, 2018.

[73] У. М. Тарас, «Проблеми рекультивациі сірчаного кар'єру в зоні діяльності Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка",» *Науковий вісник НЛТУ України*, № 23.2, с. 154-158, 2013.

[74] Ю. О. Малик, О. М. Демків та І. М. Петрушка, «Моніторинг екологічного стану місць складування відходів збагачення корисних копалин,» *Вісник Львівського державного університету життєдіяльності*, № 7, с. 194-198, 2013.

[75] О. Є. Куліковська, «Моніторинг геологічного середовища гірничодобувного регіону як елемент регіональної екологічної безпеки,» в *Научное обеспечение совершенствования методов производства открытых*

и подземных горных работ: сб. науч. тр., Кривой Рог, ГП: "Научно-исследовательский горнорудный ин-т", с. 126-140, 2009.

[76] І. П. Соловій та Я. В. Безик, «Еколого-економічна оцінка наслідків закриття вугільних шахт у контексті досягнення сталого розвитку гірничопромислових територій,» *Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць*, т. 11, № 32, с. 186-192, 2013.

[77] J. B. K. Asiedu, «Technical Report on Reclamation of Small Scale Surface Mined Lands in Ghana: A Landscape Perspective,» *American Journal of Environmental Protection*, т. 1, № 2, pp. 28-33, 2013.

[78] M. Bryk and B. Kołodziej, "Reclamation problems for the area of a former borehole sulfur mine with particular reference to soil air properties," *Land Degrad. Dev.*, no. 20, pp. 509-521, 2009.

[79] С. Р. Трускавецький, М. М. Гічка та Т. Ю. Биндич, «Сучасний погляд на інформаційне забезпечення ґрунтового моніторингу,» *Вісник аграрної науки*, № 4, с. 87-89, 2006.

[80] В. В. Медведєв, Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи, Харьков: КП «Городская типография», 536 с., 2012.

[81] В. М. Боголюбов, М. О. Клименко, В. Б. Мокін, Т. А. Сафранов, А. І. Горова, В. А. Прилипко, О. М. Адаменко, Л. М. Полетаєва та О. М. Картавцев, Моніторинг довкілля: підручник, В. М. Боголюбов, Ред., Вінниця: ВНТУ, 232 с., 2010.

[82] K. Dytkowski, J. Gorczyca, R. Socha i J. Zborowski, «Geologiczno-górnictwo uwarunkowania eksploatacji złoża siarki 'Osiek" w aspekcie ochrony środowiska i zagrożeń naturalnych,» *Perspektywy i ograniczenia w rozwoju górnictwa siarkowego w Polsce: materiały XII Warsztatów Górniczych: Miesięcznik WUG*, т. 6, s. 19-22, 2008.

[83] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Екологічні проблеми водних об'єктів гірничо-хімічної промисловості,» *Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції*, с. 145–147, 27-28 квітня 2016 р.

[84] В. Д. Погребенник, Оперативне вимірювання інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів, Львів: СПОЛОМ, 280 с., 2011.

[85] А. М. Гайдін та В. О. Дяків, «Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру», *Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. праць*, № 7, с. 50-64, 2010.

[86] А. М. Гайдін та І. І. Зозуля, «Калуш: міфи і реальність», *Дзеркало тижня*, № 5, 2010.

[87] В. В. Долін, Є. О. Яковлев, Е. Д. Кузьменко та Б. Т. Бараненко, «Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд», *Екологічна безпека та збалансоване природокористування*, № 1, с. 74-87, 2010.

[88] Я. М. Семчук, «Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розроблення калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття)», автореф. дис. докт. техн. наук, спец. 11.00.11 «Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів», Івано-Франківськ, 46 с., 1995.

[89] Є. А. Іванов, «Формування постмайнінгових ландшафтних систем Передкарпатського сірконосного басейну», *Геополітика и екогеодинамика регионов: науч. журнал*, т. 10, № 2, pp. 535-543, 2014.

[90] V. D. Pohrebennyk and E. A. Dzhumelia, «Environmental hazards of the mining and chemical enterprises territory», *Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць*, № 1 (29), с. 40-53, 2019.

[91] S. Lee, W. Ji and H. Yang, "Reclamation of mine-degraded agricultural soils from metal mining: lessons from 4 years of monitoring activity in Korea," *Environ Earth Sci*, vol. 76, no. 720, pp. 1-7, 2017.

[92] S. Sangsuk, S. Khunton and S. Nilpairach, "Recycling Limestone Dust Waste for Thai Pottery Production," *Advanced Materials Research*, no. 356-360, pp. 2051-2054, 2012.

[93] С. М. Сухарев, С. Ю. Чундак та О. Ю. Сухарева, Техноекологія та охорона навколишнього середовища, Львів: «Новий Світ-2000», 256 с., 2004.

[94] В. М. Радовенчик та М. Д. Гомеля, Тверді відходи: збір, переробка, складування (навчальний посібник), Київ: Кондор, 2010.

[95] N. H. Medina and M. A. G. Silveira, "Sequential chemical extraction for a phosphogypsum environmental impact," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1529, pp. 52-55, 2013.

[96] О. М. Яхненко, Є. Ю. Черниш, Л. Д. Пляцук та І. О. Трунова, «Самозаростання відвалу фосфогіпсу як показник рівня техногенного навантаження на довкілля,» *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, № 1, с. 110-119, 2016.

[97] О. М. Яхненко, «Екологічно безпечна утилізація фосфогіпсу у технологіях захисту атмосферного повітря,» дисер. канд. техн. наук, спец. 21.06.01 "Екологічна безпека", Суми, 248 с., 2017.

[98] J. Sun, C. L. Geng, Z. T. Zhang and X. T. Wang, "Present situation of comprehensive utilization technology of industrial solid waste," *Materials Review*, vol. 11, no. 2, pp. 105-109, 2012.

[99] Y. I. Muravyov and I. S. Belyuchenko, "Impact of chemical production wastes on pollution of surrounding landscapes," *North Cauc. Ecol. Her.*, no. 3, pp. 77-86, 2007.

[100] Y. I. Muravyov, "Prospects for the use of phosphogypsum in agriculture," *North Cauc. Ecol. Her.*, no. 6, pp. 85-89, 2010.

[101] E. V. Savoyskaya, "Prospect for the development and economic efficiency of raw material resources," *Bull. Russ. Acad. Sci.*, no. 2, pp. 122-127, 2017.

[102] H. Tayibi, M. Choura, F. A. Lopez, F. J. Alguacil and A. Lopez-Delgado, "Environmental impact and management of phosphogypsum," *Journal of Environmental Management*, no. 90, pp. 2377-2386, 2009.



[103] Т. П. Черлінка та В. М. Чайка, «Екологічна оцінка земельного фонду Тернопільської області,» *Збірник наукових статей „III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю”*, т. 2, с. 458-460, 2011.

[104] R. López, A. Valero and J. Nieto, "Changes in mobility of toxic elements during the production of phosphoric acid in the fertilizer industry of Huelva (SW Spain) and environmental impact of phosphogypsum wastes," *J Hazard Mater*, p. 148:745, 2007.

[105] T. Xiaojuan, «Reflections on China`s development prospects of rainwater harvesting and utilization,» *China Journal on Rural Water Conservancy and Hydro Power*, № 8, 2009.

[106] M. Aliedeh and N. Jarrah, "Application of full factorial design to optimize phosphogypsum beneficiation process (P2O5 Reduction) by using sulphuric and nitric acid solutions," *Sixth Jordanian International Chemical Engineering Conference*, 2012.

[107] П. В. Новосад, «Використання Роздільського фосфогіпсу у виробництві сухих будівельних сумішей,» *Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Теорія і практика будівництва*, № 755, с. 276-280, 2013.

[108] "Guidelines for Environmental, Health and Labour Protection. General Guidelines: Environmental Protection. Phosphate Fertilizer Production," [Online]. Available: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines> .

[109] R. Pérez-López, J. M. Nieto, I. López-Coto, J. L. Aguado, J. P. Bolívar and M. Santisteban, "Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): From phosphate rock ore to the environment," *Appl. Geochem.*, vol. 25, pp. 705-715, 2010.

[110] Є. Ю. Черниш, «Наукові засади еколого-синергетичного підходу до процесу утилізації фосфогіпсу для зменшення техногенного навантаження на довкілля,» автореф. дис. докт. техн. наук, спец. 21.06.01 "Екологічна безпека", Суми, 48 с., 2019.

[111] Д. В. Зеркалов, «Екологічна безпека та охорона довкілля,» Основа, Київ, 2011.

[112] G. Yuan, Z. Sheng and G. Dechun, "Reflection on the Current Layout Adjustment and Optimization of China's Phosphate Fertilizer Industry," *Phosphate Fertilizer and Compound Fertilizer*, vol. 26, no. 2, pp. 1-5, 2011.

[113] Y. Chernysh, M. Balintova, L. Plyatsuk, M. Holub and S. Demcak, "The influence of phosphogypsum addition on phosphorus release in biochemical treatment of sewage sludge," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 1259, 2018.

[114] G. Dartan, F. Taspinar and I. Toroz, "Analysis of fluoride pollution from fertilizer industry and phosphogypsum piles in agricultural area," *J. Ind. Pollut. Control*, vol. 33, pp. 662-669, 2017.

[115] M. Villa, F. Mosqueda, S. Hurtado, J. Mantero, G. Manjón, R. Periañez, F. Vaca and R. García-Tenorio, "Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases," *Sci. Total Environ.*, vol. 408, pp. 69-77, 2009.

[116] M. Calcara, A. Borgia, L. Cattaneo, S. Bartolo, G. Clemente, C. Amoroso, F. Lo Re and E. Tozzano, "Modelling reactive transport in a phosphogypsum dump," in *EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vienna, Austria, 2013.

[117] A. I. Akın and S. Yesim, "Utilization of weathered phosphogypsum as set retarder in Portland cement," *Cement and Concrete Research*, vol. 4, pp. 677-680, 2004.

[118] N. Degirmenci, A. Okucu and A. Turabi, "Application of phosphogypsum in soil stabilization," *Build. Environ.*, no. 42, pp. 3393-3398, 2007.

[119] Ю. О. Малик, М. С. Мальований, І. М. Петрушка та Н. Ю. Малик, «Досягнення екологічної безпеки глибокої переробки фосфогіпсу в сірчану кислоту і нітрат амонію,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Хімія, технологія речовин та їх застосування*, № 497, с. 122-124, 2004.

[120] «Матеріали до Національної доповіді України про стан навколишнього природного середовища у 2014 році «Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області в 2014 році»».

[121] Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, «Проблеми зберігання гудронів на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка» (Україна) та їх вплив на довкілля,» *5-й Міжнародний конгрес "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування"*: збірник матеріалів, с. 44, 26-29 вересня 2018 р.

[122] *Наказ МНС України від 06.11.03р. №425 „Про затвердження Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів”.*

[123] *Гірничий закон України, Відомості Верховної Ради України, № 50, 1999.*

[124] С. О. Дем'яненко, «Теоретичні основи дослідження антропогенної трансформації геосистем,» *Географічна освіта і наука в Україні. Зб. наукових праць*, с. 117-118, 2003.

[125] А. І. Горова та Л. В. Височин, «Розробка методів оцінки та прогнозування екологічних ризиків у гірничодобувних регіонах,» *Forum of Mining Engineers. International Scientific And Technical Conference*, с. 200-204, 2014.

[126] Л. Є. Шкіца, «Трансформація гірничих комплексів після завершення експлуатації,» *Вісник КДПУ*, № 2 (37), с. 113-115, 2006.

[127] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Екологічний аспект створення стабільної території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка",» в *Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій: колективна монографія*, Ч. Т. Л. О. Писаренко П.В., Ред., Полтава, Сімон, с. 56-66, 2016.

[128] С. А. Балюк, Л. В. Єстеревська, А. П. Травлєєв, В. М. Зверковський та А. С. Кобець, *Концепція рекультивації земель, порушених за відкритого та*

підземного видобутку корисних копалин, Харків: КП «Міська друкарня», 51 с., 2012.

[129] «Про рекультивацію земель, збереження і раціональне використання родючого шару ґрунту при розробці родовищ корисних копалин і торфу, проведенні геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт,» Постанова від 14 липня 1976 р., №327, Київ. [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/327-76-%D0%BF>.

[130] ДСТУ 7941:2015 Якість ґрунту. Рекультивація земель. Загальні вимоги, Київ, УкрНДНЦ, 2016.

[131] P. L. Younger, S. A. Banwart and R. S. Hedin, Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation, UK: Springer Science & Business Media, 442 p., 2002.

[132] V. Pohrebennyk, M. Karpinski, E. Dzhumelia, A. Kłos-Witkowska and P. Falat, «Water bodies pollution of the mining and chemical enterprise,» *18th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2018. Ecology and environmental protection: proceedings*, pp. 1035-1042, 2018.

[133] P. Favas and J. Pratas, «Characterization of acid mine drainage at the regoufe mine, Arouca geopark, Northern Portugal,» *17th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017. Conference proceedings*, т. 51, № 17, pp. 205-210, 29 June - 5 July, 2017.

[134] Г. О. Білявський, М. М. Падун та Р. С. Фурдуй, Основи загальної екології: підручник, Київ: Либідь, 368 с., 1995.

[135] D. Shults, «Recultivation of mining waste dump in the Ruhn Area, Germany,» *Water, air and soil pollution*, т. 91, № 1/2, pp. 89-98, 1996.

[136] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Сучасний стан техногенних водойм Львівщини,» в *Міжнар. наук. конф. молодих вчених "Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів"*, Одеса, 1-3 червня 2016 р., 88-92.

[137] V. Pohrebennyk, O. Mitryasova, E. Dzhumelia and A. Kochanek, «Evaluation of surface water quality in mining and chemical industry,» *17th*

*International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017*, pp. 425-432, 2017.

[138] Є. Іванов, «Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання) : матеріали Вісімнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 23–24 травня 2019 р.),» в *Формування водойм антропогенного походження в межах ліквідованих сірчаних кар'єрів*, Львів, 2019.

[139] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Загроза екологічній безпеці на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка",» в *Міжнарод. наук. конф. "Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку"*, Івано-Франківськ, 10-11 травня 2016 р., с. 158-161.

[140] V. Pohrebennyk, A. Klos-Witkowska, O. Mitryasova and E. Dzhumelia, «The role of monitoring the territory of industrial mining and chemical complexes at the stage of liquidation,» *17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017*, pp. 383-398, 2017.

[141] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Екологічна безпека території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації,» в *Всеукр. наук.-практ. конф. "Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика"*, Харків, 24 листопада 2016 р., с. 188-189.

[142] І. В. Сталінська, Конспект лекцій з дисципліни «Забезпечення екологічної безпеки» (для студентів 5 курсу денної та заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня магістр, спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища), Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 88 с., 2017.

[143] М. Хилько, Екологічна безпека України: Навчальний посібник, Київ, 2017.

[144] *Міністерство охорони навколишнього природного середовища України "Про затвердження Правил створення та експлуатації автоматизованих систем екологічного контролю і моніторингу об'єктів підвищеної екологічної небезпеки..."*, від 27.03.2009 N 148.

[145] М. С. Мальований, В. М. Шмандій, О. В. Харламова, Л. І. Челядин та Г. В. Сакалова, «Аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки,» *Екологічна безпека*, т. №1 (15), с. 37-44, 2013.

[146] Л. Архипова, Природно-техногенна безпека гідроекосистем: Монографія, Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 355 с., 2011.

[147] C. Cude, «Oregon Water Quality Index a Tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness,» *Journal of the American Water Resources Association*, т. Volume37, № Issue1, pp. 125-137, 2001.

[148] Я. Ф. Ломницька, В. О. Василечко та С. І. Чихрій, Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля, Львів: «Новий Світ-2000», 589 с., 2011.

[149] С. О. Апостолук, В. С. Джигирей та І. А. т. і. Соколовський, Промислова екологія: навчальний посібник, 2-ге вид., виправл. і доповн., Київ: Знання, 430 с., 2012.

[150] R. F. Gennari, I. Garcia, N. H. Medina and M. A. G. Silveira, "Phosphogypsum analysis: total content and extractable element concentrations," in *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011*, Belo Horizonte, MG, Brazil, 2011.

[151] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Моніторинг довкілля гірничо-хімічних районів після завершення експлуатації,» в *III міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2019 р., с. 8.

[152] С. Radu, V. Nedeff and D. Chitimus, «Theoretical studies concerning residual soil pollution by heavy metals,» *Journal of Engineering Studies and Research*, т. 19, № 2, pp. 89-96, 2013.

[153] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Екологічна безпека території гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації,» в *VI міжнар. наук.-практ. конф. "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"*, Трускавець, 7-11 жовтня 2019 р., с. 127-131.

[154] Е. Джумеля та В. Погребенник, «Методи оцінювання та прогнозування рівня екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств в

післяексплуатаційний період,» в *Міжнар. наук. конф. молодих вчених "Регіональні проблеми охорони довкілля"*, Одеса, 1-3 червня 2020 р., с. 50-52.

[155] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Визначення екологічних ризиків гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації,» в *Міжнар. наук.-практ. конф. "ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації"*, Івано-Франківськ, 22-25 березня 2017 р., с. 144-145.

[156] I. Sherameti and A. Varma, Heavy Metal Contamination of Soils: Monitoring and Remediation, т. 44, Switzerland: Springer, 497 p., 2015.

[157] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Екологічне оцінювання стану території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка»,» *Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*, Полтава, с. 107-110, 26 лютого 2016.

[158] Д. Мельничук та ін., Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення, Київ: Арістей, 448 с., 2004.

[159] Л. П. Клименко, Техноекологія: навч. посібник, Київ: ВД Професіонал, 540 с., 2000.

[160] Паспорт аналізатора елементного складу EXPERT 3L, Київ, Україна, 2008.

[161] V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, A. Mason and M. Cygnar, «X-Ray fluorescent method of heavy metals detection in soils of mining and chemical enterprises,» in *9th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE) : proceedings, 1st August-1st September 2016*, Liverpool, Liverpool John Moores university, Al Khawarizimi international college, Leeds Backett University, 2017, pp. 323-328.

[162] J. C. Fetzer, Mass Spectral Detection, Handbook of Spectroscopy, 2014.

[163] J. Epp, X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization, Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods, 2016.

[164] G. Gauglitz and D. S. Moore, "Handbook of spectroscopy," *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Vols. 4 volume set, 2nd ed., pp. 406(29):7415-7416, 2014.

[165] V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, «Environmental control of phosphogypsum and tars of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sulfur",» *V International youth science forum "Litteris et Artibus"*, pp. 458-459, 26-28 November 2015.

[166] V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, O. Korostynska, A. Mason and M. Cygnar, «Technogenic pollution of soil due to mining and chemical enterprises,» *16th International Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. Conferences Proceeding*, pp. 363-370, Albena, Bulgaria, 30 June – 06 July, 2016.

[167] V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, «Environmental assessment of the impact of tars on the territory of the Rozdil state mining and chemical enterprise "Sirka" (Ukraine),» in *Studies in Systems, Decision and Control*, T.1, Vol. 198: Sustainable production: novel trends in energy, environment and material systems, Springer, 2020, pp. 201-214.

[168] О. В. Ходаківська, «Екологізація сільськогосподарських земель: сучасний вимив та перспективи розвитку,» *Економіка АПК*, № 10, с. 23-29, 2011.

[169] V. Pohrebennyk, P. Koszelnik, O. Mitryasova, E. Dzhumelia and M. Zdeb, "Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 9, pp. 53-61, 2019.

[170] Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, «Еколого-гідрологічні проблеми після закриття гірничо-хімічного підприємства,» *Сталий розвиток – стан та перспективи: матеріали міжнародного наукового симпозіуму SDEV'2018*, с. 67-68, 28 лютого – 3 березня 2018 р.



[171] *Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. N465 "Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами".*

[172] Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями, за заг. ред.: В. Д. Романенко, В. М. Жукінський, О. П. Оксіюк та ін., Київ: Символ–Т, 28 с., 1998.

[173] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Вплив гірничо-хімічної промисловості на водні ресурси,» *Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення: Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, с. 42-44, 12-14 жовтня 2016 р.

[174] Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями: проект, за заг. ред.: А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Г. А. Верніченко та ін., Харків: УкрНДІЕП, 37 с., 2012.

[175] В. К. Хільчевський, О. М. Гончар та М. Р. Забокрицька, Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України, Київ: Ніка-Центр, 256 с., 2013.

[176] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Вплив промислових відходів на якість води,» *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання : збірник наукових статей 17 міжнародної науково-практичної конференції*, с. 156-159, 24-25 травня 2018 р.

[177] I. Razo, L. Carrizales, J. Castro, F. Díaz-Barriga and M. Monroy, "Arsenic and Heavy Metal Pollution of Soil, Water and Sediments in a Semi-Arid Climate Mining Area in Mexico," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 152, no. 1-4, pp. 129-152, 2004.

[178] Е. А. Джумеля, В. Д. Погребенник, М. Цигнар, А. Коханек та О. Коростинська, «Екологічні проблеми техногенних водойм Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка",» *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання:*

матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції, с. 6-10, 26-27 травня, 2016 р.

[179] M. Tomar, *Quality Assessment of Water and Waste Water*, London: CRC Press, 261 p., 1999.

[180] V. Pohrebennyk та E. Dzhumelia, «Evaluation of Impact of Mining and Chemical Enterprise on Ecological State of the Water Environment,» в *Water Security: Monograph*, Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016, pp. 155-169.

[181] Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, «Якість підземних вод після закриття гірничо-хімічного підприємства,» в *IV міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 1-3 квітня 2020 р., с.14-15.

[182] А. М. Гайдін та І. І. Зозуля, *Нові озера Львівщини*, Вид. 2-ге, [перероб. та доп.] ред., Львів: Вид-во ТЗОВ "Афіша", 103 с., 2009.

[183] S. Kivinen, "Sustainable Post-Mining Land Use: Are Closed Metal Mines Abandoned or Re-Used Space?," *Sustainability*, pp. 1705-17120, 2017.

[184] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Дослідження зміни складу і властивостей показників води прилеглих до гірничо-хімічних підприємств територій,» *Сталий розвиток – стан та перспективи: Матеріали II Міжнародного наукового симпозіуму SDEV'2020*, с.161-164, 12-15 лютого 2020 р.

[185] T. Nemesek, O. Huguenin-Elie, D. Dubois, G. Gaillard, B. Schaller and A. Chervet, "Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production," *Agricultural Systems*, vol. 104, no. 3, pp. 233-245, 2011.

[186] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Оцінювання вмісту важких металів у ґрунті біля відходів фосфогіпсу Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка",» в *X міжнар. наук.-практ. конф. Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів*, Харків, 20-21 жовтня 2015 р., с. 25-27.

[187] Б. Ф. Борисов и А. И. Недбай, «Способ определения акустических параметров материалов». СССР Патент 1682915, 07.10.1991.

[188] Р. Ю. Кажис, В. Й. Думбрава, Н. А. Эйдимтас и А. В. Мачикенас, «Устройство для ультразвукового контроля материалов». СССР Патент 1668936, 07.08.1991.

[189] П. С. Соченко, О. А. Зеленков та О. М. Зубченко, «Спосіб ультразвукового контролю хімічного складу навколишнього середовища та пристрій для його реалізації». Україна Патент 33870А, 15.02.2001.

[190] В. Д. Погребенник та А. В. Романюк, Комп'ютерні вимірювально-інформаційні системи для оперативного екологічного моніторингу водного середовища: монографія, Львів: Вид-во Львівської політехніки, 160 с., 2013.

[191] Б. Н. Петров, В. А. Викторов, Б. В. Лункин и А. С. Совлуков, Принцип инвариантности в измерительной технике, Москва: Наука, 242 с., 1976.

[192] V. Pohrebennyk, «Improving the accuracy of operative control parameters of water,» in *Water security: Monograph*, Mukolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, 2016, pp. 142-154.

[193] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Акустичні методи вимірювання концентрації домішок у речовині,» *Комп'ютерні технології друкарства*, т. 2 (40), с. 82-89, 2018.

[194] В. М. Триснюк та Т. В. Триснюк, «Інформаційні технології та просторово-часові методи регіональної системи моніторингу,» *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, № №2, с. 120-128, 2014.

[195] E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, «Remote environmental monitoring of the mining and chemical enterprise territory at the stage of liquidation,» in *9th International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, November 21-23, 2019, pp. 217-219.

[196] «NASA Giovanni,» [Онлайновий]. Available: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.

[197] «Giovanni. The Bridge Between Data and Science, v 4.34,» [Онлайновий]. Available: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=2012-01->

01T00:00:00Z&endtime=2020-01-

01T23:59:59Z&bbox=23.6627,49.0649,24.256,49.6143&data=OMNO2d\_003\_ColumnAmountNO2TropCloudScreened.

[198] M. A. Haque, E. Topal and E. Lilford, «A numerical study for a mining project using real options valuation under commodity price uncertainty,» *Res. Pol.*, т. 39, pp. 115-123, 2014.

[199] О. Бондар, П. Унгурян, О. Сухіна та О. Улицький, Екологізація гірничодобувного виробництва: рентні відносини. Монографія, Київ, 300 с., 2018.

[200] *Положення про державну систему моніторингу довкілля. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20 березня 1998 р. №391.*

[201] Л. Б. Білоус та Я. О. Чопик, «Проблеми моніторингу виробничо-екологічних територіальних систем гірничого підприємства,» *Науковий Вісник УкрДЛТУ*, № 12, с. 164-175, 2002.

[202] V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, «The methodology for design of informational and analytical system for environmental monitoring of mining and chemical enterprise in the liquidation,» *Environmental Problems*, т. Vol. 2, № №4, pp. 215-220, 2017.

[203] В. Погребенник, І. Коваль та Е. Джумеля, «Тенденції розвитку методів та систем управління відходами,» *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, т. 29, № 1, с. 78-82, 2019.

[204] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Засади створення геоінформаційних систем моніторингу територій гірничо-хімічних підприємств,» *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, т. 29, № 7, с. 115-119, 2019.

[205] Е. Джумеля та В. Погребенник, «Екологічний моніторинг ґрунтів території гірничо-хімічного підприємства,» в *4-ий Міжнар. конгрес "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування"*, Львів, 21-23 вересня 2016 р., с. 25.

[206] В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, М.О. Лесик, "Стан ґрунтів на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка", на *V Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 23-26 вересня 2015, с. 196.

[207] В. М. Самойленко, *Основи геоінформаційних систем. Методологія: навчальний посібник*, Київ: Ніка-Центр, 276 с., 2003.

[208] В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, «Інформаційно-аналітична система моніторингу водних об'єктів гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації,» в *VI Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: Збірник наукових праць*, Вінниця, 20-22 вересня 2017, с. 175.

[209] В. Погребенник та Е. Джумеля, «Екологічний моніторинг підземних вод гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації,» в *VII Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 25-27 вересня 2019, с. 109.

[210] E. N. Tetteh, *Evaluation of land reclamation practices at Anglogold Ashanti, Iduapriem Mine Ltd, Tarkwa, Kumasi: Kwame Nkruman University of Science and Technology*, 2010.

[211] Л. Є. Шкіца та О. В. Палійчук, «Моніторинг території гірничодобувного комплексу після завершення експлуатації родовища,» *Environmental safety and sustainable resources management*, т. 1, № 1, с. 70-73, 2010.

[212] A. Kłos-Witkowska, «Enzyme-Based Fluorescent Biosensors and Their Environmental, Clinical and Industrial Applications,» *Pol. J. Environ. Stud.*, т. 24, № 1, pp. 19-25, 2015.

[213] «QGIS. Вільна географічна інформаційна система з відкритим кодом,» [Онлайнвий]. Available: <https://www.qgis.org/uk/site/index.html>.

[214] В. Варенко, *Інформаційно-аналітична діяльність: навчальний посібник*, Київ: Університет "Україна", 417 с., 2014.

[215] «Інститут гірничо-хімічної промисловості ВАТ"ГІРХІМПРОМ" "Звіт про науково-дослідну роботу "Відновлення природної якості

поверхневих і ґрунтових вод та усунення шкідливої дії води в зоні діяльності Роздільського ДГХП "Сірка",» Львів–Новий Розділ, 1999.

[216] E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, “The ecological monitoring system of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation,” in *VIII International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 22-24 November 2018, pp. 288-289.

## ДОДАТКИ

### Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертації

#### *Монографії*

1. V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, "Evaluation of Impact of Mining and Chemical Enterprise on Ecological State of the Water Environment," in *Water Security: Monograph*, Mykolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, pp. 155-169, 2016.

2. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Екологічний аспект створення стабільної території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," у *Агроекологічні, соціальні та економічні аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій: колективна монографія*, ред. Писаренко П.В., Чайка Т.О., Ласло О.О., Полтава, Сімон, с. 56-66, 2016.

3. В. Погребенник, В. Дяків, Е. Джумеля та М. Ковальчук, "Оцінювання сучасного стану гірничо-хімічних підприємств на стадії ліквідації," у *Науковий та педагогічний супровід сталого розвитку: Дискурс 2019: колективна монографія*, ред. С. Д. Рудишин та І. М. Коренева, Суми, Вінниченко М. Д., с. 38-55, 2019.

#### *Статті, які включені до наукометричних баз даних*

4. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, O. Korostynska, A. Mason, M. Cygnar, "Technogenic pollution of soil due to mining and chemical enterprises," *16th International Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. Conferences Proceeding*, Albena, pp. 363-370, 2016. (Web of Science)

5. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, A. Mason, M. Cygnar, "X-Ray fluorescent method of heavy metals detection in soils of mining and chemical enterprises," *9th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE): proceedings, 1st August - 1st September 2016*, Liverpool, Liverpool John Moores university, Al Khawarizimi international college, Leeds Backett University, pp. 323-328, 2017. (Web of Science, Scopus)

6. V. Pohrebennyk, O. Mitryasova, E. Dzhumelia, A. Kochanek, "Evaluation of surface water quality in mining and chemical industry," *17th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017*, Albena, pp. 425-432, 2017. (Scopus)

7. V. Pohrebennyk, A. Kłos-Witkowska, O. Mitryasova, E. Dzhumelia, "The role of monitoring the territory of industrial mining and chemical complexes at the stage of liquidation," *17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017*, Vienna, pp. 383-398, 2017. (Scopus)

8. V. Pohrebennyk, M. Karpinski, E. Dzhumelia, A. Kłos-Witkowska, P. Falat, "Water bodies pollution of the mining and chemical enterprise," *18th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2018. Ecology and environmental protection: proceedings*, pp. 1035-1042, 2018. (Scopus)

9. V. Pohrebennyk, P. Koszelnik, O. Mitryasova, E. Dzhumelia and M. Zdeb, "Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 9, pp. 53-61, 2019. (Web of Science, Scopus)

10. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, "Environmental assessment of the impact of tars on the territory of the Rozdil state mining and chemical enterprise "Sirka" (Ukraine)," *Studies in Systems, Decision and Control, T. 1, Vol. 198: Sustainable production: novel trends in energy, environment and material systems*, Springer, pp. 201-214, 2020. (Scopus)

***Стаття у науковому фаховому виданні України, яке включено до наукометричної бази даних Index Copernicus***

11. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Акустичні методи вимірювання концентрації домішок у речовині," *Комп'ютерні технології друкарства*, № 2 (40), с. 82-91, 2018. (Index Copernicus, фахове видання)

***Статті у наукових фахових виданнях України***

12. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, "The methodology for design of informational and analytical system for environmental monitoring of mining and chemical enterprise in the liquidation," *Environmental Problems = Екологічні проблеми*, Vol. 2, № 4, pp. 215-220, 2017. (фахове видання)



13. V. Pohrebennyk, E. Dzhumelia, "Environmental hazards of the mining and chemical enterprises territory," *Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць*, № 1 (29), с. 40-53, 2019. (фахове видання)

14. В. Д. Погребенник, І. І. Коваль, Е. А. Джумеля, "Тенденції розвитку методів та систем управління відходами," *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, Т. 29, № 1, с. 78-82, 2019. (фахове видання)

15. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Засади створення геоінформаційних систем моніторингу територій гірничо-хімічних підприємств," *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*, Т. 29, № 7, с. 115-119, 2019. (фахове видання)

#### ***Публікації в матеріалах конференцій***

16. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, М.О. Лесик, "Стан ґрунтів на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *V Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 23-26 вересня 2015, с. 196.

17. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Оцінювання вмісту важких металів у ґрунті біля відходів фосфогіпсу Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *X Міжнар. наук.-практ. конф. "Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів"*, Харків, 20-21 жовтня 2015 р., с. 25-27.

18. V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, "Environmental control of phosphogypsum and tars of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sulfur"," in *V International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 26-28 November 2015, pp. 458-459.

19. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Екологічне оцінювання стану території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *I Міжн. наук.-практ. конф. Агроекологічні, соціальні та економічні*

аспекти створення й ефективного функціонування екологічно стабільних територій, Полтава, 26 лютого 2016, с. 107-110.

20. В. Д. Погребенник та Е.А. Джумеля, "Екологічні проблеми водних об'єктів гірничо-хімічної промисловості," на *Міжнар. наук.-техн. конф. "Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів"*, Харків, 27-28 квітня 2016 р., с. 145-147.

21. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Загроза екологічній безпеці на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *Міжнар. наук. конф. "Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку"*, Івано-Франківськ, 10-11 травня 2016 р., с. 158-161.

22. Е. Джумеля, В. Погребенник, М. Цигнар, А. Коханек та О. Коростинська, "Екологічні проблеми техногенних водойм Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *XV міжнар. наук.-практ. конф. "Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання"*, Львів, 26-27 травня 2016 р., с. 6-10.

23. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Сучасний стан техногенних водойм Львівщини," на *Міжнар. наук. конф. молодих вчених "Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів"*, Одеса, 1-3 червня 2016 р. с. 88-92.

24. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Екологічний моніторинг ґрунтів території гірничо-хімічного підприємства," на *4-й Міжнар. конгресі "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування"*, Львів, 21-23 вересня 2016 р., с. 25.

25. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Вплив гірничо-хімічної промисловості на водні ресурси," на *III Міжнар. наук.-практ. конф. "Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення"*, Дрогобич, 12-14 жовтня 2016 р., с. 42-44.

26. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, " Екологічна безпека території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства на стадії

ліквідації," на *Всеукр. наук.-практ. конф. "Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика"*, Харків, 24 листопада 2016 р., с. 188-189.

27. E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, "Environmental problems of soils during the liquidation Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka"," in *6th International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 24-26 November 2016, pp. 480-481.

28. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Визначення екологічних ризиків гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *Міжнар. наук.-практ. конф. "ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації"*, Івано-Франківськ, 22-25 березня 2017, с. 144-145.

29. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Виснаження природних ресурсів і забруднення довкілля як єдиний процес," на *Семінарі до 60-річчя доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри екології та збалансованого природокористування, заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого "Сталий розвиток - погляд у майбутнє"*, 15 вересня 2017 р., с. 30, 2017.

30. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Інформаційно-аналітична система моніторингу водних об'єктів гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *VI Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 20-22 вересня 2017, с. 175.

31. V. Pohrebennyk and E. Dzhumelia, "Environmental impact of mining and chemical industry," in *VII International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 23-25 November 2017, pp. 130-131.

32. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Еколого-гідрологічні проблеми після закриття гірничо-хімічного підприємства," на *I міжнар. наук. симпозіумі SDEV'2018 "Сталий розвиток – стан та перспективи"*, Львів-Славське, 28 лютого – 3 березня 2018 р., с. 67-68.

33. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Вплив промислових відходів на якість води," на *17 міжнар. наук.-практ. конф. "Ресурси природних*

вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання", Львів, 24-25 травня 2018 р., с. 156-159.

34. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Проблеми рекультивації території в зоні діяльності Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка"," на *I Всеукр. наук.-практ. конф. "Передумови та перспективи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу"*, Полтава, 28 травня 2018 р., с. 113-115.

35. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Антропогенний вплив на довкілля при діяльності гірничо-хімічного підприємства," на *II Міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2018, с. 15.

36. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Проблеми зберігання гудронів на території Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка» (Україна) та їх вплив на довкілля," на *5-й Міжнар. конгресі "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування"*, 26-29 вересня 2018 р., с. 44.

37. E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, "The ecological monitoring system of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation," in *VIII International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, 22-24 November 2018, pp. 288-289.

38. В. Д. Погребенник та Е. А. Джумеля, "Моніторинг довкілля гірничо-хімічних районів після завершення експлуатації," на *III міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2019 р., с. 8.

39. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Екологічний моніторинг підземних вод гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації," на *VII Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology – 2019)*, Вінниця, 25-27 вересня 2019, с. 109.

40. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Екологічна безпека території гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації," на *VI Міжнар. наук.-*

*практ. конф. "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування", Трускавець, 7-11 жовтня 2019 р., с. 127-131.*

41. E. Dzhumelia and V. Pohrebennyk, "Remote environmental monitoring of the mining and chemical enterprise territory at the stage of liquidation," in *9th International youth science forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, November, 21-23, 2019, pp. 217-219.

42. В. Д. Погребенник, Е. А. Джумеля, "Дослідження зміни складу і властивостей показників води прилеглих територій до гірничо-хімічних підприємств," на *II Міжнар. наук. симпозіумі "Сталий розвиток – стан та перспективи"*, Львів-Славське, 12-15 лютого 2020 р., с. 161-164.

43. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Якість підземних вод після закриття гірничо-хімічного підприємства," на *IV Міжнар. наук.-практ. конф. "Прикладні науково-технічні дослідження"*, Івано-Франківськ, 1-3 квітня 2020 р., с. 14-15.

44. Е. А. Джумеля та В. Д. Погребенник, "Методи оцінювання та прогнозування рівня екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств в післяексплуатаційний період," на *Міжнар. наук. конф. молодих вчених "Регіональні проблеми охорони довкілля"*, Одеса, 1-3 червня 2020 р., с.50-52.

## Додаток Б. Акти впровадження

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

Національного університету “Львівська політехніка”

Давидчак О.Р.

28 08 2019 р.



про використання у навчальному процесі  
Національного університету “Львівська політехніка”  
результатів досліджень та розробок, одержаних  
під час виконання дисертаційної роботи  
Джумелі Ельвіри Анатоліївни

Комісія у складі: голови науково-методичної ради ІСТР ім. В'ячеслава Чорновола, к.т.н., доц. Стасевича С.П., зав. каф. ЕБПД, д.т.н., проф. Петрушки І.М., д.т.н., доц. Мокрого В.І., к.т.н., доц. Шибанової А.М. цим актом підтверджують, що основні положення та результати дисертаційної роботи Джумелі Ельвіри Анатоліївни на здобуття наукового ступеня доктора філософії використано на кафедрі екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету “Львівська політехніка” у навчальному процесі під час проведення лекцій та практичних занять з таких дисциплін: “Технології перероблення та утилізації відходів” (тема “Технології перероблення промислових відходів”), “Технології захисту навколишнього середовища” (тема “Відходи гірничо-хімічного підприємства”). Метою дисертаційної роботи Джумелі Е.А. є розроблення та впровадження наукових та методологічних основ екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації (на прикладі Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства “Сірка”).

Голова НМР ІСТР ім. В. Чорновола  
к.т.н., доц.

Стасевич С.П.

Члени комісії:

Зав. каф. ЕБПД, д.т.н., проф.

Петрушка І.М.

д.т.н., доц.

Мокрий В.І.

к.т.н., доц.

Шибанова А.М.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з наукової роботи  
Львівського національного університету  
“Львівська політехніка”

проф. Чухрай Н.І.  
2019 р.



АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Джумелі Е.А.,  
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Комісія у складі:

голови комісії – начальника науково-дослідної частини, к.т.н., доц. Жук Л.В.  
та членів комісії: зав. каф. екологічної безпеки та природоохоронної  
діяльності, д.т.н., проф. Петрушки І.М., зав. відділу науково-організаційного  
супроводу наукових досліджень, к.т.н. Лазько Г.В. і заступника начальника  
планово-фінансового відділу Чулой Т.М.

Цим актом підтверджує, що результати дисертаційної роботи  
Джумелі Е.А. використано під час виконання науково-дослідних робіт  
кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, зокрема, під  
час виконання кафедральної теми “Методи та засоби підвищення екологічної  
безпеки техногенних об'єктів регіонів” (№ державної реєстрації 0117U004014)  
(2017–2020 рр.) – підчас розроблення підходів для прогнозування рівня  
забруднення території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації за  
допомогою аналітичної геоінформаційної системи моніторингу та створення  
методології підвищення рівня екологічної безпеки гірничо-хімічного  
підприємства.

Голова комісії,  
начальник НДЧ, к.т.н, доц.

Жук Л.В.

Члени комісії:

Зав. каф. ЕБПД, д.т.н., проф.

Петрушка І.М.

Зав. відділу НОСНД, к.т.н.

Лазько Г.В.

Заступник начальника відділу ПФВ

Чулой Т.М.



УКРАЇНА

ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ  
ДЕПАРТАМЕНТ ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

вул. Стрийська, 98, м. Львів, 79026, тел./факс (032) 238-73-83, тел. 238-73-83

E-mail: [envir@loda.gov.ua](mailto:envir@loda.gov.ua) Код ЄДРПОУ 38739037

№ \_\_\_\_\_ На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**АКТ**

про використання наукових результатів  
дисертаційної роботи Джумелі Е.А.

Даний акт підтверджує факт використання в практиці департаменту екології та природних ресурсів Львівської обласної державної адміністрації наукових результатів аспірантки Джумелі Е.А., що були одержані в результаті роботи над дисертацією на здобуття наукового ступеня доктора філософії, метою роботи якої є розроблення та впровадження наукових та методологічних основ екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації (на прикладі Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка").

Дослідження, проведені дисертанткою, виконувалися на кафедрі екологічної безпеки та природоохоронної діяльності 2017-2018 рр. у рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України, результати яких використовувалися, зокрема, при виконанні кафедральної теми "Методи та засоби підвищення екологічної безпеки техногенних об'єктів регіонів" (№ державної реєстрації 0117U004014) (2017-2020рр.). Науковий керівник – професор Національного університету "Львівська політехніка", д.т.н. Погребенник В.Д., відповідальний виконавець – аспірантка Джумеля Е.А.

На основі результатів дисертаційної роботи Джумелі Е.А., які опубліковано в її наукових працях, розроблено підходи для прогнозування рівня забруднення і підвищення рівня екологічної безпеки території гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

Впровадження методів та заходів керованого контролю екологічною безпекою створює науково обґрунтовану основу для підвищення екологічної безпеки Роздільського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка".

Даний акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Директор департаменту екології  
та природних ресурсів Львівської  
обласної державної адміністрації  
Гречаник Р.М.

\_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 2019 р.





«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Генеральний директор  
ТзОВ Інститут «ГІРХІМПРОМ»

к.т.н. Бодак П.М.

08 \_\_\_\_\_ 2019 р.

АКТ

про використання наукових результатів дисертаційної роботи Джумелі Е.А.

Даний акт підтверджує факт використання в практиці комплексного екологічного моніторингу, який проводився ТзОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ»» під час виконання науково-технічної роботи «Інвентаризація накопичених промислових відходів на території Роздільського ДГХП «Сірка», Миколаївський район, Львівська область» (2017 р.) наукових результатів аспірантки Джумелі Е.А., що були одержані в результаті роботи над дисертацією на здобуття наукового ступеня доктора філософії, метою роботи якої є розроблення та впровадження наукових та методологічних основ екологічної безпеки гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації.

Дослідження, виконані дисертанткою, виконувалися на кафедрі екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка» у 2017-2019 рр. у рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України, результати яких використовувалися, зокрема, під час виконання кафедральної теми «Методи та засоби підвищення екологічної безпеки техногенних об'єктів регіонів» (№ державної реєстрації 0117U004014) (2017–2020 рр.). Науковий керівник – професор Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н. Погребенник В.Д., відповідальний виконавець – аспірантка Джумеля Е.А.

У дисертаційній роботі проаналізовано методи і засоби оцінювання техногенних впливів гірничо-хімічних підприємств на стан довкілля та способи відновлення забрудненої території. Комплексно оцінено вплив промислових відходів на довкілля Роздільського ДГХП «Сірка», яке знаходиться на стадії ліквідації.

Дисертанткою розроблено методи комп'ютерного екологічного моніторингу гірничо-хімічного підприємства на етапі ліквідації, підходи для прогнозування рівня забруднення і підвищення рівня екологічної безпеки території.

Впровадження аналітичної геоінформаційної системи керованого контролю створює науково обґрунтовану основу для підвищення рівня екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств.

Даний акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Керівник наукового центру, к.геол.н.

Дяків В.О.

Головний інженер проектів

Пилипчук Р.В.