

ХВОСТОСХОВИЩЕ СТЕБНИЦЬКОГО ГХП «ПОЛІМІНЕРАЛ»: СУЧАСНИЙ СТАН, ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Зенон Хевпа¹, Ігор Кицмур², Василь Дяків²

*¹Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», просп. Академіка Палладіна, 34А, Київ, Україна, 02000
e-mail: zeponzxv@gmail.com*

*²Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com*

У статті проаналізовано експлуатацію хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» у минулому, у тому числі аварійний прорив дамби 1983 року, яка була визнана екологічною катастрофою регіонального масштабу, сучасний стан і перспективи вирішення наявних екологічних проблем. Подано результати моніторингу за станом дамб, мінеральним складом твердої фази та хімічним складом вод. Хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, де тривалий час накопичували відходи збагачення калійних руд. Недосконалість технології збагачення призвела до накопичення знаних об'ємів твердої й рідкої фаз. 15 вересня 1983 року на Стебницькому хвостосховищі сталася катастрофічна аварія, яка призвела до забруднення р. Дністра на сотні кілометрів, стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) і суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників, серед яких одним із визначальних була експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних значеннях вище за проектні відмітки – переповнення рідкою фазою. Переповненість двох секцій хвостосховища рідкою фазою в наш час становить потенційну загрозу повторення аварії 1983 року. Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Тут накопичено 13 млн м³ рідкої та твердої фази, останніми роками, особливо у 2022 році, експлуатується з рівнем рідкої фази в секціях № 1 і № 2. Відповідно до запропонованої моделі, основними елементами матеріального балансу двосекційного хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» є такі: 1) випадання на площу хвостосховища атмосферних опадів; 2) випаровування з площі рідкої і твердої фаз води; 3) регламентований скид рідкої фази в річкову мережу; 4) вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища.

Ключові слова: хвостосховище, калійні руди, Стебницьке родовище, технологія збагачення, складування відходів збагачення, оцінювання екологічного стану, аналіз, прогноз.

Оцінювання стану діючих гідротехнічних споруд, які призначені для тривалого безпечного зберігання промислових відходів, аналіз аварійних ситуацій, що виникали в процесі їх експлуатації в минулому, аналіз наявних екологічних проблем та обґрунтування шляхів їх вирішення є надзвичайно актуальними проблемами техногенно-екологічної безпеки. Показовим прикладом стосовно цього є хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал», яке являє собою спеціалізовану гідротехнічну споруду, обваловану дамбою для безпечного зберігання рідкої та твердої фаз відходів збагачення калійних руд, є виробничим

складом для зберігання некондиційного хлориду натрію з домішками розчинних і нерозчинних у воді мінералів, техногенним об'єктом підвищеної екологічної небезпеки, а тому потребує постійного моніторингу для недопущення можливих аварійних ситуацій.

Така аварія на Стебницькому хвостосховищі вже мала місце 15 вересня 1983 року, коли на ПК 8 стався зсув ґрунту, що спричинив за собою проран, прорив дамби та спорожнення хвостосховища за лічені години. Прорив дамби Стебницького хвостосховища 15 вересня 1983 року та вилив у басейн річки Дністер 4,5 млн м³ високомінералізованої ропи показали, якою суттєвою може бути загроза екологічній безпеці регіону. Ця аварія стала найбільшою техногенною катастрофою для екосистеми р. Дністра, завдала величезної шкоди флорі й фауні басейну Верхнього та частково Середнього Дністра до Дністровського водосховища. Тут у цей період загинуло сотні тисяч тонн риб, а також завдано шкоди нерестилищам гідробіонтів аж до Чорного моря. Перші два тижні після аварії дністровська вода за хімічним складом на 85% русла не відповідала санітарно-гігієнічним вимогам до питних вод.

Стебницьке хвостосховище огорожене від навколишніх земель ґрунтовою дамбою загальною довжиною 2061 м, із максимальною висотою 21,5 м збудовано в 1970-х роках. Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Ложе хвостосховища гідрозольоване, що забезпечує, з одного боку, відсутність витоків за межі зберігання рідкої та твердої фаз у секціях № 1 і № 2, а з іншого боку, в умовах позитивного водного балансу переважання кількості опадів над інтенсивністю випаровування, припинення виробничого процесу й, відповідно, використання оборотних вод у дощові роки та пори року зі значною кількістю опадів і незначним випаровуванням, може призвести до переповнення секцій і виникнення нової аварійної ситуації, подібної до екологічної катастрофи 1983 року.

Основною проблемою гідротехнічних споруд, що зберігають промислові відходи на підприємствах, де тимчасово припинений виробничий процес, є забезпечення екологічної безпеки, аналіз аварійних ситуацій, які були в минулому, оцінювання сучасного стану, обґрунтування шляхів вирішення та прогноз на майбутнє. Ці проблеми хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» розв'язували шляхом аналізу фондових матеріалів, опрацювання результатів моніторингових спостережень і польових досліджень.

Цій проблемі присвячена низка публікацій В.О. Дяківа, І.І. Кицмура, Х.М. Цар [1–3]. У цих роботах розглянуто екологічні та геохімічні наслідки експлуатації хвостосховищ. У працях В.О. Дяківа, І.І. Кицмура проведено ретроспективний аналіз аварії 1983 року [4–5].

У працях П.М. Білоніжки, В.О. Дяківа, А.М. Гайдіна, І.І. Зозулі, Я.М. Семчука [6; 7; 8] розглянуто теоретичні та прикладні аспекти функціонування хвостосховищ у районах розробки і збагачення калійних руд Передкарпаття [6–7].

У роботі [9] подано дані розслідування причин екологічної катастрофи на Стебницькому хвостосховищі, що мала місце у вересні 1983 року, а публікації [9] доповнюють деякі аспекти цієї події.

Водночас ми не знайшли публікації, де висвітлено комплексні підходи до вирішення проблем стану діючих гідротехнічних споруд, які призначені для тривалого безпечного зберігання промислових відходів – продуктів збагачення калійних руд, проаналізовано аварійні ситуації, що виникали в процесі їх експлуатації в минулому, сучасні екологічні проблеми та обґрунтовано шляхи їх вирішення.

Мета статті – оцінювання стану хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» як складної гідротехнічної споруди, що зберігає промислові відходи в умовах тимчасового припинення виробничого процесу, аналіз аварійних ситуацій, які були в минулому,

оцінювання сучасного стану, обґрунтування шляхів вирішення проблем і забезпечення екологічної безпеки.

Мінеральний склад руд Стебницького родовища й технологія збагачення.

Калійні руди Стебницького родовища мають полімінеральний склад. Вони містять багаті й своєрідні асоціації сольових мінералів, які належать до водних і безводних хлоридів, хлорид сульфатів і сульфатів K, Mg, Na, Ca. Головними мінералами покладів калійних солей, звичайно, є **галіт, каїніт і лангбейніт**. З огляду на те що два останні мінерали є головними рудами на калій і магній, виділяють три головні різновиди калій-магнієвих руд: **каїнітові, лангбейнітові та каїніт-лангбейнітові**. Дуже часто каїніт має вторинне походження – унаслідок заміщення первинного лангбейніту, так званий процес каїнітизації лангбейніту іноді настільки широко розвинутий, що вторинний каїніт стає основним мінералом. Тоді між каїнітом і лангбейнітом локалізований буферний мінерал – кізерит, а вся мінеральна асоціація має зональну будову: усередині – лангбейніт, далі – кізерит, а оконтурює каїніт. Власне така анатомічна будова асоціації свідчить про вторинне походження каїніту внаслідок заміщення лангбейніту й кізериту.

До другорядних мінералів, які наявні в калійних рудах у невеликих кількостях (до 10%), належать силвін, полігаліт, кізерит, шеніт, епсоміт, леоніт і карналіт. Іноді зустрічаються тіла кондиційних руд, складені цими мінералами: **силвінові, полігалітові, карналітові**, які можуть мати промислове значення. У вигляді домішок до 1% трапляються астраханіт, арканіт, гексагідрит, ангідрит, гіпс, рідко вантгофіт [1–5; 8; 9–10]. Важливу роль у складі калійних порід відіграють глинисті мінерали **хлорит і гідрослюда**, а також теригенні мінерали – кварц і польовий шпат, і мінерали-домішки – кальцит і доломіт.

Технологічна схема переробки калійно-магнієвих руд із доміантним каїніт-лангбейнітовим складом Стебницького родовища розроблена у Всесоюзному науково-дослідному інституті галургії (м. Санкт-Петербург, росія). Суть цієї технології полягала в розчиненні калійних соляних порід гарячою водою, додаванні флотореагенту 2–3 кг на тонну руди, осадженні нерозчинного глинистого залишку й відокремленні від осаду висвітленої висококонцентрованої ропи та кристалізації з неї калімагнезійо. Проте полімінеральний склад калійних руд і високий уміст у них глинистого матеріалу (10–15%, іноді до 20%) значно ускладнювали технологію їх переробки. Практично ця технологія виявилася дуже недосконалою. У відходи потрапляли не тільки глинистий матеріал і недорозчинений полігаліт і галіт, а й ропа з високим умістом хлористого натрію та калійно-магнієвих солей, половина цінних компонентів ішла у відходи, з 1 тонни руди утворювалося 0,7–0,8 тонн відходів. Тим не менше із залишкових 200–300 кг руди на збагачувальній фабриці отримували готову продукцію – калімаг. Об'єм відходів, згідно з проектними розрахунками, становив 900 м³ за добу і, відповідно, 328 тис. м³ за рік. Усі ці відходи треба було складувати у хвостосховище.

Передумови вибору місця для зберігання відходів збагачення. Під час вишуквальних робіт і проектування хвостосховища збагачувальної фабрики Стебницького калійного заводу основні зусилля із забезпечення екологічної безпеки та мінімізації негативного впливу були спрямовані на захист довкілля від фільтраційних утрат, руйнування огорожувальної дамби, запилення атмосферного повітря. Із цією метою, з огляду на близькість території до бальнеологічного курорту Трускавець, вибрано найбільш вдале місце в басейні р. Тисмениці, її лівої притоки р. Солонниці та лівого Безіменного допливу між північною околицею м. Стебника, селами Болехівці й Раневичі, де в 1973–1977 роках було побудовано хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» шляхом огороження від навколишніх земель ґрунтовою дамбою загальною довжиною 2061 м, із максимальною висотою 21,5 м, у межиріччі лівих приток річки Солонниці, яка є правою притокою

річки Тисмениці, що, у свою чергу, впадає у транскордонну річку Дністер і належить до водозбірного басейну Чорного моря (рис. 1).

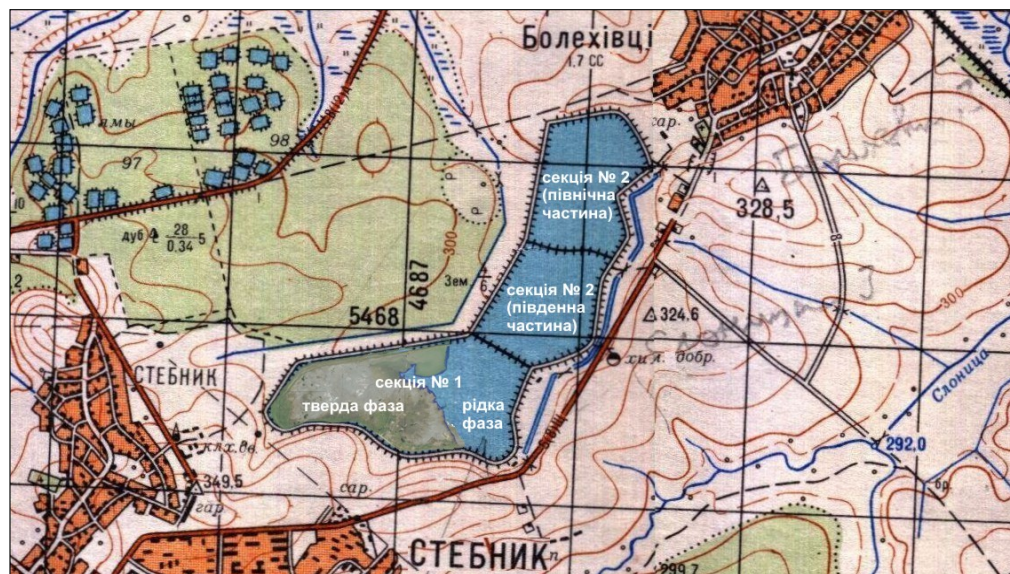


Рис. 1. Розташування й план хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал»

Аналіз аварії хвостосховища в 1983 році. Відразу після введення в експлуатацію хвостосховище стало швидко заповнюватися рідкою фазою, із пульти якої осідала тверда фаза, а відстоюна ропа поверталася в технологічний процес. На початку 80-х років ХХ століття експлуатація Стебницького хвостосховища протягом тривалого часу відбувалася на критичних значеннях вище проектної відмітки на 0,5 м допустимих рівнів ропи. Не бралися до уваги під час наповнення чаші хвостосховища ропою дані моніторингових спостережень щодо підвищених рівнів підземних вод в оглядових колодязях.

Перші передвісники майбутньої гідродинамічної аварії – тріщини в тілі дамби між пікетами 7 і 8 другої секції внаслідок нарощування дамби до проектної відмітки, були задокументовані ще у квітні 1983 року. Замість того щоб припинити закачку рідкої фази до з'ясування причин утворення тріщин, було вирішено зупинити привантажування зсувонебезпечної ділянки при відсипці та «косметично» «залікувати тріщини», а після стабілізації ситуації продовжити нарощування. Про це свідчать дані моніторингу за станом дамби.

15 вересня 1983 року в районі ПК 8 секції № 2 хвостосховища Стебницького калійного комбінату відбулася аварія, що мала катастрофічні екологічні наслідки: через руйнування дамби відбувся викид відходів збагачення в кількості 4,5 млн м³, унаслідок чого були забруднені ріки Бистриця та Дністер, на деякий час призупинена діяльність окремих підприємств у Львівській, Івано-Франківській, Тернопільській, Хмельницькій та Одеській областях України, Республіки Молдови. Завдана значна шкода сільськогосподарському виробництву в цих районах, була пошкоджена залізниця Львів-Трускавець. Загалом господарствам України та Молдови були завдані збитки на суму більше ніж 62 млн крб.

Вирішальним чинником гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі став проливний дощ, який тривав три доби, коли з 12 по 14 вересня 1983 року напередодні прорану 15 вересня 1983 року випала місячна норма опадів.

Гідродинамічна аварія 15 вересня 1983 року стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) і суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників:

а) невідповідності проектним вимогам технології – недостатнє трамбування, а також матеріалів і ґрунтів, які використовували для будівництва: у тіло дамби вкладали не тільки четвертинні суглинки, а й не передбачені проектом неогенові глини, а за усними повідомленнями, мерзлий ґрунт. Відповідно до чинних будівельних норм, цього категорично не можна було робити, як наслідок, незадовільна робота дренажної системи, обводнення, просідання та зсув тіла дамби (рис. 2);

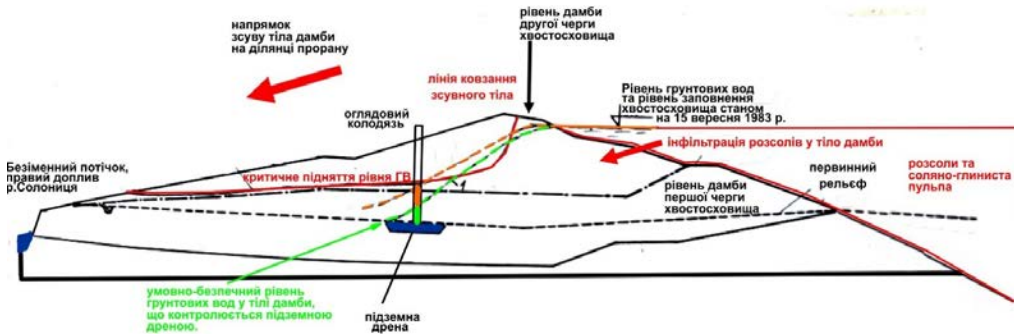


Рис. 2. Принципова схема неадекватної роботи дренажної системи, обводнення тіла дамби й локалізації лінії ковзання зсуву на ділянці прорану 15 вересня 1983 року [9]

б) секцію № 2 хвостосховища використовували виключно як відстійник високомінералізованої ропи, без намівання пляжів твердої фази по внутрішньому контуру, що суттєво б укріпило тіло дамби. Акумулявання рідкої фази високомінералізованої ропи безпосередньо біля тіла дамби стало причиною того, що ропи почали фільтруватися й обводнювати ослаблені ділянки;

в) експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних відмітках допустимих рівнів ропи;

г) неврахування даних моніторингових спостережень щодо підвищених рівнів підземних вод в оглядових колодезях і первинних деформацій тіла дамби за умови переповнення хвостосховища вище за проектну відмітку на 0,5 м;

д) надмірна кількість опадів, коли напередодні прорану з 12 по 14 вересня 1983 року йшов проливний дощ і випала місячна норма.

Аварійному прорану тіла дамби Стебницького хвостосховища передувало обводнення ґрунтової основи між пікетами 7 і 8, перетворення її на пливун і просідання, яке зафіксували працівники Львівського спеціалізованого управління № 605, котрі добудовували секцію № 2, о 9 год. 30 хв. 15 вересня 1983 року [1]. О 14 год. цього ж дня зафіксовано утворення тріщин, через які почав витікати високомінералізований розсіл. 15 вересня 1983 року, о 18 год. 05 хв., відбулася активізація зсуву, утворення хвилі прориву й ерозійний розмив шириною до 55 м по гребеню та 20 м на рівні дна [23]. Відразу після аварії експерти задокументували дзеркала зсуву по включеннях неогенових глин на ділянках обводнення та розуцільнення в тілі дамби.

Після зміщення зсувного тіла відбувся гідродинамічний прорив дамби, який при перепаді рівнів ропи – 14 м, являв собою потужний селевий потік, що живився за рахунок підпору високомінералізованої ропи з переповненої чаші другої секції Стебницького хвостосховища до короточасного повного спрацювання наявних запасів – понад 4,5 млн м³.

Некерований селевий потік високомінералізованої ропи витікав п'ять годин (99% – за 3 години, решта – за 2 години), через проран у тілі дамби потрапив за межі контуру хвостосховища в русло потічка Безіменний (рис. 3).



Рис. 3. Місце прориву дамби (прорану) та первинного поширення високомінералізованої ропи по руслу потічка Безіменний 15 вересня 1983 року [1]

У разі точного виконання вимог проекту будівництва хвостосховища такі природні умови та геологічна будова були досить сприятливими з гідрологічних позицій: неогенові відклади – водотривкі, є природним регіональним геохімічним бар'єром, горизонти різнофазіального четвертинного водоносного комплексу поширені локально, тому можливі фільтраційні втрати суттєво не впливали на якість підземних вод, зокрема, у найближчих населених пунктах.

Однак, як виявилось під час розслідування причин гідродинамічної аварії, до 12–15% тіла дамби було складено саме неогеновими глинами, не в останню чергу через нерівний, нечіткий, хвилястий, із глибокими врізами контакт між неогеновими та четвертинними відкладами. Крім того, у тілі дамби були виявлені й заторфовані суглинки, а передноворічна «штурмівщина» для виконання плану в листопаді-грудні 1976 року призвела до того, що, імовірно, у цей час у тіло дамби потрапили й мерзлі ґрунти, що було категорично неприпустимо. Через постійну «штурмівщину» для виконання плану трамбування тіла дамби здійснювали лише колесами самоскидів.

Як наслідок ґрунти тіла дамби не відповідали проектним вимогам як за щільністю (густиною) – мінімальне значення $1,65 \text{ г/см}^3$, так і за вологістю – максимум 22–23%: на ділянці прорану виявлені прошарки зі значеннями густини $1,45\text{--}1,55 \text{ г/см}^3$ і значеннями вологості 28–37%.

До однієї з найважливіших техногенних причин гідродинамічної аварії варто зарахувати й те, що секцію № 2, на відміну від секції № 1 хвостосховища, використовували виключно як відстійник високомінералізованої ропи без намивання пляжів твердої фази, тоді як намивання пляжів твердої фази хвостів збагачення суттєво б укріпило тіло дамби, зокрема, і на ослабленій ділянці.

Візуальне обстеження прориву, а також результати буріння свердловин виявили, що площа зсуву зміщення не вийшла з тіла дамби. Про це свідчила наявність на дні прориву непорушених насипних порід тіла дамби, а також відсутність валу випирання в ґрунтах основи.

Величезна маса високонцентрованої ропи і твердих відходів (мулу) ринула в басейн р. Солониці, а з неї в р. Тисменицю, а далі в р. Дністер й у Чорне море. Сумарна маса цього викиду становила понад 5 млн тонн і являла собою селевий потік із потужним гідравлічним напором, який неможливо було зупинити жодними технічними засобами. Про це свідчить той факт, що бульдозер, який стояв на дамбі поблизу місця прориву, був знесений униз на відстань близько 100 м. Величезна маса соляних відходів забруднила всю навколишню територію (річки, сади, городи, поля, ліси). Це завдало величезної шкоди флорі й фауні цього району, а також гідробіонтам річок Солониці, Тисмениці та Дністра, аж до Чорного моря.

Проведені гідрогеологічні й інженерно-геологічні дослідження виявили, що першопричиною аварії було різке підняття рівня підземних вод у тілі дамби перед проривом (рис. 4).

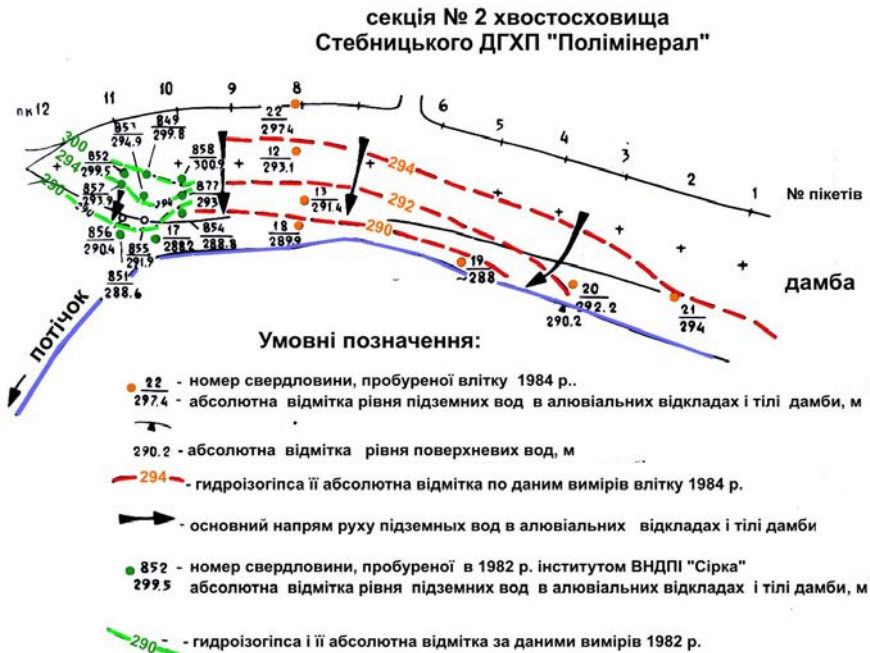


Рис. 4. Результати гідрогеологічних та інженерно-геологічних досліджень до та після прориву дамби 15 вересня 1983 року

Наслідком підняття рівня підземних вод у профілі дамби в умовах критично високого рівня заповнення хвостосховища та зростання інфільтрації розсолів у тіло дамби стала активізація зсуву по дзеркалу ковзання, що спричинило утворення прорану.

Початковою фазою гідродинамічної аварії був миттєвий прорив дамби, швидкий ерозійний розмив і некерований потік високонцентрованої ропи з верхнього б'єфа через тіло дамби в нижній б'єф через проран трапецієдричної форми площею 483 м², через який середній розхід протягом трьох годин становив 450 м³/с.

Першим негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало **катастрофічне затоплення місцевості від хвостосховища, Раневиської та Почасвицької сільських рад.**

Катастрофічне затоплення як стихійне лихо полягало в стрімкому затопленні хвилиною прориву нижче розташованої місцевості й виникненні паводку, що ускладнився

засоленням ґрунтів і підземних вод. Величезна маса соляних відходів забруднила всю навколишню територію (річки, сади, городи, поля, ліси). Це завдало величезної шкоди флорі й фауні цього району, а також гідробіонтам річок, якості вод у місцевих водозаборах.

Другим катастрофічним негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало надмірне забруднення надзаплавних терас від Стебника до села Тершакова на р. Дністер, куди соляно-глинистий потік дійшов протягом доби й де суттєво була порушена якість підземних вод.

Третім негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало катастрофічне забруднення річкових вод від с. Тершакова до Дністровського водосховища в Чернівецькій області, яке тоді ще лише будували й де досі на дні локалізовано до 1 млн м³ стебницьких розсолів, меншою мірою до Дубосарського водосховища в Молдові, де осіло кілька десятків тисяч тонн намулу, і навіть Дністровського лиману біля Чорного моря.

Це завдало величезної шкоди флорі й фауні басейну Верхнього та частково Середнього Дністра до Дністровського водосховища. Тут у цей період загинуло сотні тисяч тонн риб, особливо донних, сомів та інших: саме по дну поширювалася більш важка соляна ропа. А також нерестилищам гідробіонтів аж до Чорного моря.

Аналіз аварії (екологічної катастрофи) Стебницького хвостосховища 1983 року, а також той факт, що в післяаварійний період дамба гідротехнічної споруди була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі, дають підстави стверджувати, що практично єдиним чинником небезпеки виникнення нової аварійної ситуації в сучасних умовах є позитивний водний баланс – переважання кількості опадів над інтенсивністю випаровування, що в разі припинення виробничого процесу й, відповідно, використання оборотних вод у дощові роки та пори року зі значною кількістю опадів і незначним випаровуванням може призвести до переповнення секцій і виникнення нової аварійної ситуації, подібної до екологічної катастрофи 1983 року.

Усе це показує, наскільки важливими є моніторингові спостереження за станом хвостосховища, рівнями рідкої фази, трансформацією твердої фази, змінами їх матеріального балансу, а також виконання рекомендованих заходів з метою зменшення ризиків переповнення.

Сучасний стан хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал».

Площа хвостосховища – 125 га, із них акваторія – 70 га. Секція 1 площею 69 га обгороджена дамбою з відмітками 212–213 м. Висота дамби – до 22 м, довжина – 1900 м. Секція заповнена відходами кількістю 8,2 млн м³, на більшій частині площі – рідкою фазою (рис. 5).



Рис. 5. Загальний вид на східну частину секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», повністю заповненою рідкою фазою

Тверда фаза виходить на поверхню в південній частині секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» на ділянці пляжу (рис. 6).



Рис. 6. Загальний вид на південну частину секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» на ділянці пляжу, де тверда фаза виходить на поверхню

Секція 2 утворена дамбою довжиною 1200 м і висотою до 17,3 м. Відмітка дамби – 306,8 м. Секція розділена на 2 частини перемичкою з відміткою 305 м. Площа північної частини – 26,9 га, південної – 28,4 га. Секція № 2 заповнена розсолом в об'ємі 2,9 млн м³ до відмітки 304 м. Тверда фаза представлена в основному глинистими відкладеннями на дні південної частини в об'ємі 1,6 млн м³ (рис. 7).



Рис. 7. Загальний вид на східну частину секції № 1 хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», повністю заповнену рідкою фазою

Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена, відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Ложе хвостосховища гідроізольоване, що забезпечує, з одного боку, відсутність витоків за межі зберігання рідкої та твердої фаз у секціях № 1 і № 2, а з іншого боку, в умовах позитивного водного балансу переважання кількості опадів над інтенсивністю випаровування, припинення виробничого процесу й, відповідно, використання оборотних вод у дощові роки та пори року зі значною кількістю опадів і незначним випаровуванням може призвести до переповнення секцій і виникнення нової аварійної ситуації, подібної до екологічної катастрофи 1983 року.

Усе це показує, наскільки важливими є моніторингові спостереження за станом гідротехнічних споруд хвостосховища, рівнями рідкої фази, трансформацією твердої фази,

змiнами їх матерiального балансу, а також виконанням рекомендованих заходiв з метою зменшення ризикiв переповнення. Згiдно з комплексним проєктом консервацiї рудника № 2, гiрничi виробки мали бути заповненi розсолон, який мали виготовляти шляхом донасичення рiдкої фази вiдходiв пiд час розчинення твердої фази. Однак через низку об'єктивних i суб'єктивних причин повнiстю виконати комплексний проєкт не вдалося: у рудник № 2 скинутi лише найбільш насиченi розсоли, а тверда фаза розчинена лише частково. Саме це визначає актуальнiсть роботи з розрахунку матерiального балансу й надання науково обгрунтованих рекомендацiй щодо зниження ризикiв переповнення.

На поверхнi секцiї № 1 до глибини 0,6–0,7 м солi вилугуванi, залишок являє собою пiскоподiбний ґрунт, який складається з кристалiв гiпсу, пiщаних i глинистих частинок iз незначним умістом легкорозчинних мiнералiв, насамперед галiту. Цей прошарок за аналогiєю з природними соляними покладами умовно називають гiпсо-глинистою шапкою за складованою твердої фази хвостосховища, а хiмiчний склад таких вiдкладiв подано в таблицi 1.

Таблиця 1

Хiмiчний склад гiпсо-глинистої шапки, г/кг

Глибина вiдбору (см)	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	Сума	K(%)	Mg (%)
10	0,7	1	40	36	0,5	225	303,2	0,33	11,87
20	0,8	0,08	30	24	0,8	192	247,68	0,03	9,69
30	0,8	1	37	28	0,8	239	306,6	0,33	9,13
40	2,2	1,8	40	31	0,9	264	339,9	0,53	9,12
50	2	14	36	26	1,7	220	299,7	4,67	8,68
60	3,2	142	26	15	1,8	288	476	29,83	3,15
70	5	124	30	27	3,7	357	546,7	22,68	4,94

Як впливає з таблицi, у складi зони вилугування переважають сульфати кальцiю, тобто гiпс. Грубi частинки зони вилугування представленi кристалами гiпсу (CaSO₄), лангбейнiту (K₂SO₄*MgSO₄) i кiзериту (MgSO₄*H₂O). Тонкi частинки представленi глинистими мiнералами. Малорозчиннi солi утворюють скелет iз великими порами, завдяки чому ґрунт вiдрiзняється високою проникливiстю. Природна вологiсть ґрунтiв – вiд 15 до 22%.

Глибше залягає кристалiчна сiль на глинистому цементi. Умiст розчинних солей – 57–93%, вологiсть – вiд 1 до 23%, середня – 17%, середня об'ємна маса в природному станi – 1,81 г/см³. Сiль являє собою напiвскельну породу, мiцнiсть за шкалою Протодьяконова – 4–5.

Шляхи забезпечення екологiчної безпеки. На пiдставi проведених дослiджень для двосекцiйного хвостосховища Стебницького ГХП «Полiмiнерал» можна запропонувати два найважливишi шляхи забезпечення екологiчної безпеки:

1. Регламентований скид в умовах позитивного водного балансу та пiдняття рiвнiв рiдкої фази до критичних значень, що загрожують повторенням катастрофiчної ситуацiї, що мала місце в 1983 році.

2. Зменшення накопичених об'ємiв твердої фази з їх подальшим господарським використанням.

Згiдно iз запропонованою моделлю, основними елементами матерiального балансу двосекцiйного хвостосховища Стебницького ГХП «Полiмiнерал» є такi:

1. Випадання на площу хвостосховища атмосферних опадiв.
2. Випаровування з площi рiдкої i твердої фаз води.
3. Регламентований скид рiдкої фази в рiчкову мережу.

4. Вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища (рис. 8).

Щодо **випадання на площу хвостосховища атмосферних опадів**, то, згідно з даними метеостанції в місті Дрогобичі за останні 70 років, річна кількість опадів у межах досліджуваної території коливається від 442 мм на рік у 1961 році до 1100 мм на рік у 1980 році за розрахованого середнього значення атмосферних опадів 736 мм на рік.



Рис. 8. Модель матеріального балансу двосекційного хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал»

Щодо **випаровування з площі рідкої і твердої фаз води** хвостосховища, то, згідно з даними метеостанції в місті Дрогобичі за останні 70 років, середньорічна добова інтенсивність випаровування в межах досліджуваної території коливається від 1,8 мм на добу у 2004 році до 2,4 мм на добу у 2003 році за розрахованого середнього значення середньодобового випаровування 2,0 мм на добу. Відповідно, середня річна інтенсивність випаровування становить від 550 мм на рік у 2004 році до 658 мм на рік у 2003 році за розрахованого середнього значення середньодобового випаровування 608 мм на рік.

Розрахунки показують, що на всю площу хвостосховища випадає від 552,5 тис. м³/рік опадів (1980 рік) до 1 млн 375 тис. м³/рік опадів (1961 рік) у середньому 920 тис. м³/рік опадів, тоді як випаровування з поверхні твердої та рідкої фаз становить від 687,5 тис. м³/рік води (2004 рік) до 822,5 тис. м³/рік води (2003 рік).

Як видно з наведених даних, у засушливі роки, коли кількість опадів фіксується на рівні меншому, ніж 550 мм на рік, практично вся вода, яка потрапила за цей період, повністю випаровується й навіть дещо зменшує рівень води у двох секціях за рахунок випаровування раніше накопичених вод. Але такі засушливі роки після побудови хвостосховища зафіксовані лише двічі: 1982 рік (529 мм опадів на рік) і 2000 рік (523 мм опадів на рік).

Багаторічні метеорологічні спостереження виявляють, що більшість років характеризуються переважанням кількості опадів над інтенсивністю випаровування в межах досліджуваної території, особливо в останні роки, про що свідчать дані зростання рівнів води в секціях № 1 і № 2. Загалом за розрахунками водного балансу річний притік на площу хвостосховища можна оцінити до 650 тис. м³/рік води.

Особлива небезпека раптового переповнення хвостосховища притаманна для періодів інтенсивних зливових опадів, коли за короткий час (1–2 чи кілька діб) потенційно може випасти кількамісячна норма опадів, і такі випадки неодноразово фіксували.

На такі випадки на хвостосховищі Стебницького ГХП «Полімінерал» функціонує діюча сифонна система скиду, яка розрахована на скид надлишкових вод з метою недопущення руйнування дамби, а також регламентований скид рідкої фази в річкову мережу.

Після сильних дощів за умови переважання опадів над випаровуванням можливе переповнення хвостосховища й настання надзвичайної ситуації за сценарієм аварії (екологічної катастрофи) 15 вересня 1983 року. Тому частину ропи з хвостосховища, яка перевищує проектні позначки, за погодженням із контрольними органами в минулі роки (1984–2000 роки) періодично скидали в гідрографічну мережу р. Дністра за діючою системою аварійного скиду пониження рівнів.

Вищевказане показує, що найдієвішим важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, як у секції № 1, так й особливо в секції № 2, є **регламентований скид рідкої фази в річкову мережу**. На хвостосховищі Стебницького ГХП «Полімінерал» функціонує діюча сифонна система скиду, яка розрахована на скид надлишкових вод з метою недопущення руйнування дамби. Розрахунки показують, радикально може покращити ситуацію скид щонайменше 550 тис. м³ мінералізованої води із секції № 2, що призведе до зниження рівня на 1 м, і від 50 чи навіть 100 тис. м³ мінералізованої води чи більше із секції № 1. На жаль, розроблений Стебницьким ГХП «Полімінерал» регламент скиду досі не погоджений у встановленому законом порядку.

Дослідження виявили, що ще одним дієвим, а найважливіше, реальним важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, насамперед у секції № 1, є **вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища**. Розрахунки показують, що вивезення за межі хвостосховища навіть 10 тис. м³ твердої фази, не кажучи про 100 тис. м³ чи навіть 1 млн. м³, суттєво чи навіть радикально зменшує ризики переповнення хвостосховища та підвищує рівень екологічної безпеки.

Вивезення твердої фази за межі хвостосховища, насамперед із секції № 1, дасть змогу створити додаткові еквівалентні об'єми (10 тис. м³, 100 тис. м³ чи 1 млн. м³), вивільнить додатковий об'єм для накопичення вод, якими може поповнюватися секція № 1 за рахунок атмосферних опадів, також цей об'єм можна використовувати як місце зберігання рідкої фази за регуляторного перекачування вод із секції № 2.

Отже, на основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, де тривалий час накопичували відходи збагачення калійних руд. Недосконалість технології збагачення призвела до накопичення значних об'ємів твердої й рідкої фаз. Тверда фаза характеризується підвищеним умістом солей калію, магнею

та сульфатів, перебуває в нерухомому стані, не становить загрози природного переміщення в гідрологічну мережу та перебуває на балансі Стебницького ГХП «Полімінерал» як товарний продукт – соляно-мінеральна суміш.

2. 15 вересня 1983 року на Стебницькому хвостосховищі сталася катастрофічна аварія, яка призвела до забруднення р. Дністра на сотні кілометрів і стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) і суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників, серед яких одним із визначальних була експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних значеннях вище за проектні відмітки – переповнення рідкою фазою. Переповненість двох секцій хвостосховища рідкою фазою в наш час становить потенційну загрозу повторення аварії 1983 року.

3. Після аварії 1983 року дамба Стебницького хвостосховища була додатково підсилена й відтоді постійно експлуатується в безаварійному режимі. Тут накопичено 13 млн м³ рідкої та твердої фази, останніми роками, особливо у 2022 році, експлуатується з рівнем рідкої фази в секціях № 1 і № 2, близьким до критичних відміток, відповідно, фактичні абсолютні відмітки рівнів розсолів: 311,46 м у секції № 1 і 303,65 м у секції № 2. Це вказує на те, що в секції № 1 рівень рідкої фази лише на 54 см нижчий від максимально допустимого рівня – абсолютної відмітки 312,0 м, а в секції № 2 лише на 35 см нижчий від максимально допустимого рівня – до абсолютної відмітки 304,0 м, що становить загрозу в кращому випадку переливу через дамбу, а в гіршому випадку прориву та пошкодження захисної гідротехнічної споруди за сценарієм аварії (екологічної катастрофи) 1983 року.

4. Відповідно до запропонованої моделі, основними елементами матеріального балансу двосекційного хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал» є такі: 1) випадання на площу хвостосховища атмосферних опадів; 2) випаровування з площі рідкої і твердої фаз води; 3) регламентований скид рідкої фази в річкову мережу; 4) вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища.

5. Розрахунки матеріального балансу – привнесення та винесення твердої й рідкої фаз із площі хвостосховища, виявляють, що єдиним джерелом надходження рідкої фази є атмосферні опади, а випаровування, регламентований скид рідкої фази в річкову мережу та вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища є варіантами зменшення об'ємів твердої й рідкої фаз. У засушливі роки, коли кількість опадів фіксується на рівні меншому, ніж 550 мм на рік, практично вся вода, яка потрапила за цей період, повністю випаровується й навіть дещо зменшує рівень води у двох секціях за рахунок випаровування раніше накопичених вод. Але такі засушливі роки після побудови хвостосховища зафіксовані лише двічі: у 1982 році (529 мм опадів на рік) і 2000 році (523 мм опадів на рік). Багаторічні метеорологічні спостереження виявляють, що більша кількість років характеризується переважанням кількості опадів над інтенсивністю випаровування й у межах досліджуваної території, особливо останні роки, про що свідчать дані зростанням рівнів води в секціях № 1 і № 2. Загалом за розрахунками водного балансу річний притік на площу хвостосховища можна оцінити до 650 тис. м³/рік води.

6. Найдієвішим важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, як у секції № 1, так й особливо в секції № 2, є **регламентований скид рідкої фази в річкову мережу**. На хвостосховищі Стебницького ГХП «Полімінерал» функціонує діюча сифонна система скиду, яка розрахована на скид надлишкових вод з метою недопущення руйнування дамби. Розрахунки показують, що радикально може покращити ситуацію скид щонайменше 550 тис. м³ мінералізованої води із секції № 2, що призведе до зниження рівня на 1 м, і від 50 чи навіть 100 тис. м³ мінералізованої води чи більше із секції № 1. На

жаль, розроблений Стебницьким ГХП «Полімінерал» регламент скиду досі не погоджений у встановленому законом порядку.

7. З'ясовано, що дуже дієвим, а найважливіше, реальним важелем зміни матеріального балансу хвостосховища, насамперед у секції № 1, є **вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища**. Розрахунки показують, що вивезення за межі хвостосховища навіть 10 тис. м³ твердої фази, не кажучи про 100 тис. м³ чи навіть 1 млн. м³, суттєво чи навіть радикально зменшує ризики переповнення хвостосховища й підвищує рівень екологічної безпеки. Вивезення твердої фази (твердого некондиційного хлориду натрію з домішками глинистих та інших компонентів) за межі хвостосховища, насамперед із секції № 1, дасть змогу створити додаткові еквівалентні об'єми (10 тис. м³, 100 тис. м³ чи 1 млн. м³), що стануть додатковим об'ємом для накопичення вод, якими може поповнюватись секція № 1 за рахунок атмосферних опадів, також цей об'єм можна використовувати як місце зберігання рідкої фази за регуляторного перекачування вод із секції № 2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дяків В., Цар Х. Модель вилуговування, закарстовування та самоізоляції легкорозчинних солей з приповерхневих соляно-глинистих відкладів хвостосховищ і солевідвалів калійних родовищ Передкарпаття. *Мінералогічний збірник Львівського університету*. 2010. № 60. Вип. 2. С. 136–147.
2. Кицмур І.І., Дяків В.О. Геохімічні умови формування карстових озер та засолених інфільтратів хвостосховища № 1 (м. Калуш, Івано-Франківська область). *Від мінералогії до геохімії*: збірник наукових праць наукової конференції, присвяч. 130-річчю від дня народження академіка О.Є. Ферсмана. Київ, 2013. С. 316–323. URL: <http://www.museumkiev.org/Geology/conf/Fersman/2.pdf>.
3. Кицмур І.І., Гайдін А.М., Дяків В.О. Оцінка впливу хвостосховищ та солевідвалів на стан підземних і поверхневих вод м. Калуша та його околиць. *Визначення концепції розв'язання екологічних проблем м. Калуша*: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (18 лютого 2016 р.). Калуш, 2016. С. 49–62.
4. Кицмур І.І., Дяків В.О. Ретроспективний геоекологічний аналіз гідродинамічної аварії 15 вересня 1983 р. на Стебницькому хвостосховищі та геохімічних наслідків катастрофічного виливу розсолів у басейн Верхнього Дністра. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*: матеріали Третьої науково-практичної конференції (Трускавець, 4–7 жовтня 2016 р.) / ДСГІН України, ДКЗ України. Київ, 2016. С. 297–302.
5. Дяків В., Кицмур І. Природно-техногенні причини та еколого-геохімічні наслідки гідродинамічної аварії 15 вересня 1983 р. на Стебницькому хвостосховищі. *Вісник Львівського університету. Серія «Геологія»*. 2016. Вип. 30. С. 106–124.
6. Білоніжка П., Дяків В. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля. *Праці наукового товариства ім. Т. Шевченка*: геологічний збірник. Львів, 2012. Т. XXX. С. 199–209.
7. Гайдін А.М., Дяків В.О., Зозуля І.І. Розсоли в затоплених калійних рудниках Передкарпаття. *Хімічна промисловість України*. 2012. № 3 (110). С. 32–38.
8. Семчук Я.М. Вивчення міграції високомінералізованих розсолів у районі хвостосховища Калуського виробничого об'єднання «Хлорвініл» на фізичній моделі. *Удосконалення технології видобутку та переробки калійних руд Прикарпаття*: збірник. Черкаси: ОН ТЕХІМ, № 952ХІІ-Д84, 1985. С. 86–95.
9. Висновок щодо комплексних геолого-гідрогеологічних, інженерно-геологічних та гідротехнічних досліджень ділянки руйнування дамби секції № 2 хвостосховища Стебниківського калійного заводу / В.М. Шестопапов, Г.В. Лисиченко та ін. *Тимчасова комісія АН*. Київ, 1984. 137 с.

REFERENCES

1. Dyakiv V., Tsar H. (2010). Model of leaching, karstification and self-isolation of readily soluble salts from near-surface salt-clay deposits of tailings and salt pits of potash deposits of Precarpathia. *Mineralogical collection of Lviv University*. No. 60. Issue 2. P. 136–147.
2. Kitsmur I.I., Dyakiv V.O. (2013). Geochemical conditions of the formation of karst lakes and saline infiltrates of tailings repository No. 1 (Kalush, Ivano-Frankivsk region). *Collection of science Proceedings of the Scientific Conference «From Mineralogy to Geochemistry», dedicated to the 130th anniversary of the birth of Academician O.E. Fersman*. K. P. 316–323. Internet access mode: <http://www.museumkiev.org/Geology/conf/Fersman/2.pdf>.
3. Kitsmur I.I., Haydin A.M., Dyakiv V.O. (2016). Assessment of the impact of tailings and salt pits on the state of underground and surface water in the city of Kalusha and its surroundings. *Collection of materials of the International scientific and practical conference «Definition of the concept of solving ecological problems of the city of Kalush». February 18, 2016*. Kalush City Council. P. 49–62.
4. Kitsmur I.I., Dyakiv V.O. (2016). Retrospective geoecological analysis of the hydrodynamic accident on September 15, 1983 at the Stebnytsky tailings impoundment and the geochemical consequences of the catastrophic spill of brines into the Upper Dniester basin. *Materials of the Third Science-Practice. conference «Subsoil use in Ukraine. Investment prospects», Truskavets, October 4–7, 2016. DSGiN of Ukraine, DKZ of Ukraine*. Kyiv. P. 297–302.
5. Dyakiv V., Kitsmur I. (2016). Natural-technogenic causes and ecological-geochemical consequences of the hydrodynamic accident on September 15, 1983 at the Stebnytsky tailings storage facility. *Visnyk of Lviv University. Series geol.* Issue 30. P. 106–124.
6. Bilonizhka P., Dyakiv V. (2012). Stebnytske deposit of potash salts: development, ore beneficiation waste, problems of environmental protection. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko. T. HOKH, Geological collection*. Lviv. P. 199–209.
7. Haydin A.M., Dyakiv V.O., Zozulya I.I. (2012). Brine in flooded potash mines of Precarpathia. *Chemical industry of Ukraine*. No. 3 (110). C. 32–38.
8. Semchuk Y.M. (1985). Study of the migration of highly mineralized brines in the area of the tailings storage facility of the Kaluska industrial association «Chlorvinil» using a physical model. *Improvement of the technology of extraction and processing of potash ores of Prykarpattia: Collection*. Cherkasy: ON TEHIM, No. 952XII-D84. P. 86–95.
9. Shestopalov V.M., Lysyuchenko G.V. etc. (1984). Conclusion on complex geological-hydrogeological, engineering-geological and hydrotechnical studies of the site of the destruction of the dam of section No. 2 of the tailings repository of the Stebnytsky potash plant. *Temporary Commission of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*. K. 137 p.

**TAILINGS STORAGE FACILITY OF STEBNYTSKYI MCF
“POLYMINERAL”: CURRENT STATE, WAYS TO IMPROVE
THE STATE OF THE ENVIRONMENT AND ENSURE
ENVIRONMENTAL SAFETY**

Zenon Hevpa¹, Ihor Kutsmur², Vasyl Dyakiv²

¹State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry
of National Academy of Sciences of Ukraine”,
Academician Palladin Ave., 34A, Kyiv, Ukraine, 02000
e-mail: zenonzxv@gmail.com

²Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com

An analysis of the operation of the tailings storage facility of the Stebnytsky HPP “Polyminerall” in the past, including the emergency dam breach in 1983, which was recognized as an environmental

disaster of a regional scale, the current state and prospects for solving existing environmental problems, was conducted. The results of the monitoring of the state of the dams, the mineral composition of the solid phase and the chemical composition of the water are presented. The tailings storage facility of the Stebnytskyi HPP "Polymneral" belongs to the objects of increased ecological danger, where waste from the enrichment of potash ores was accumulated for a long time. The imperfection of the enrichment technology led to the accumulation of known volumes of solid and liquid phases. On September 15, 1983, a catastrophic accident occurred at the Stebnytskyi tailings facility, which led to the pollution of the Dniester River for hundreds of kilometers and was the result of the coincidence of several objective (natural) and subjective (technological-technological) factors, sulfur being one of the determining factors the decisive factor was the operation of the tailings storage facility for a long time at critical values above the design levels - overflowing with the liquid phase. The current overflow of two sections of the tailings pond with liquid phase poses a potential threat of a repeat of the 1983 accident in the present. After the accident in 1983, the Stebnytsky tailings dam was additionally strengthened and, since then, has been continuously operated in an accident-free mode. 13 million cubic meters of liquid and solid phase have been accumulated here, in recent years, especially in 2022, it has been operated with the level of the liquid phase in sections No. 1 and No. 2. According to the proposed model, the main elements of the material balance of the two-section tailings storage facility of the Stebnytskyi HPP "Polymneral" are: 1) Atmospheric precipitation falling on the area of the tailings storage facility; 2) Evaporation from the surface of the liquid and solid phases of water; 3) Regulated discharge of the liquid phase into the river network; 4) Removal of the solid phase (solid non-standard sodium chloride with admixtures of clay and other components) outside the tailings storage facility.

Key words: tailings deposit, potash Stebnytske deposit, beneficiation technology, storage of beneficiation waste, assessment of the ecological state, analysis, forecast.