

УДК 54.2.66.061.3

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННІ ПРИЧИНИ ТА ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ НАСЛІДКИ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ АВАРІЇ 15 ВЕРЕСНЯ 1983 Р. НА СТЕБНИЦЬКОМУ ХВОСТОСХОВИЩІ

В. Дяків, І. Кицмур

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
геологічний факультет, кафедра екологічної та інженерної геології і гідрогеології,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005,
e-mail: dyakivw@yahoo.com; kytsmur89@gmail.com*

Проведено ретроспективні геологічні й екологічні аналізи всіх аспектів гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі, яка трапилася 15 вересня 1983 р. З'ясовано, що “слабкими місцями” при вишукувальних роботах, проектуванні, будівництві хвостосховища стали особливості геологічної будови, складна морфологія поверхні контакту між четвертинних та неогенових відкладів, їхня неоднорідність, земляні роботи в осінньо-зимовий період, що призвело до потрапляння у тіло дамби непередбачених проектними рішеннями глин, заторфованих суглинків та мерзлих ґрунтів. Недостатнє трамбування відсипаного ґрунту лише колесами самоскидів призвело до невідповідності проектним вимогам як за щільністю, так і за вологістю тіла дамби. У процесі експлуатації хвостосховища не здійснювався намів пляжів твердої фази на внутрішньому схилі дамби, що могло б суттєво підвищити її стійкість. Було доведено, що до гідродинамічної аварії призвела сукупність вищезгаданих природно-техногенних причин, а проливний дощ 12 – 14 вересня 1983 р., коли випала місячна норма опадів став її спусковим гачком. Описано динаміку гідродинамічного прориву греблі, поширення сольового забруднення, механічні та геохімічні бар'єри на шляху поширення плюму високомінералізованої ропи. Проведені дослідження придонних водних товщ Дністровського водосховища віддалених геохімічних наслідків сольового забруднення, через 31 рік після аварії не виявлено.

Ключові слова: калійні родовища Передкарпаття, хвостосховище, ретроспективний геоecологічний аналіз, геохімічні бар'єр, геохімія річкових вод, річки Дністер, Солониця, Тисмениця, високомінералізована ропи.

Прорив дамби Стебницького хвостосховища 15 вересня 1983 р. та вилів у басейн Верхнього Дністра 5 млн м³ (6 млн т) високомінералізованої ропи засвідчив, якою суттєвою може бути загроза екологічній безпеці. Водночас детальних опублікованих досліджень геохімічних наслідків цієї події в літературі немає. На наш погляд, враховуючи сучасну політичну й економічну ситуацію в Україні, актуальним є детальний ретроспективний геоecологічний аналіз гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі та геохімічних наслідків катастрофічного виліву ропи в басейн Верхнього Дністра.

У басейні Верхнього Дністра налічується понад 30 комплексів гідротехнічних споруд – напірних ставків рибогосподарського призначення, гребель, загат, дамб,

вирівнювальних резервуарів, гідровузлів, водозахисних споруд, меліоративних шлюзових каналів, водосховищ, відстійників, нагромаджувачів промислових відходів, шламосховищ, хвостосховищ, акумулювальних ємностей, які створюють різницю рівнів води та вагому загрозу екологічній безпеці прилеглих земель і територій, локалізованих нижче за течією. Особлива гідродинамічна й екологічна небезпека в басейні Верхнього Дністра зумовлена комплексами об'єктів, що містять промислові відходи, небезпечні для водного середовища та гідробіотів у зоні впливу калійних родовищ Передкарпаття та належать Калуському ДП «Калійний завод» (два хвостосховища, акумулювальний басейн та шламосховище) та Стебницькому ГХП «Полімінерал» (двосекційне хвостосховище високомінералізованої ропи та соляно-глинистої пульпи) (рис. 1).

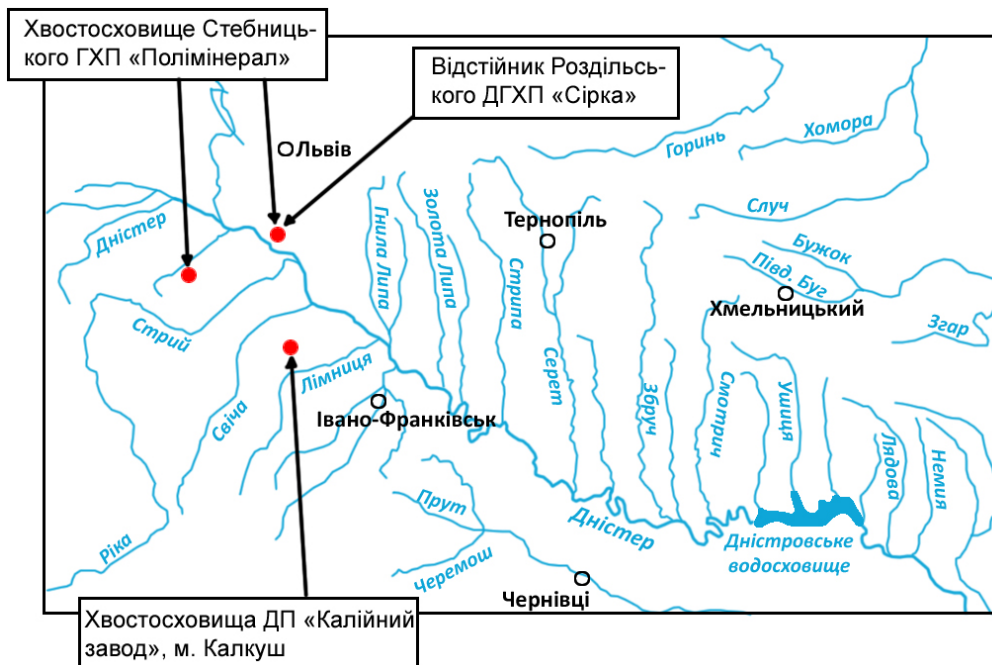


Рис. 1. Комплекси об'єктів, які становлять підвищену гідродинамічну й екологічну небезпеку в басейні Верхнього Дністра.

Мета досліджень полягала в критичному геоecологічному аналізуванні всіх аспектів гідродинамічної аварії Стебницького хвостосховища для виявлення ймовірних «слабких місць» у ході вишукувальних робіт, проектування, будівництва, експлуатації, моніторингу стану гідротехнічних споруд, а також передаварійного стану, власне гідродинамічного прориву, поширення сольового забруднення, його первинних та віддалених геохімічних наслідків. Для досягнення поставленої мети ми проаналізували доступні фондові матеріали розслідування причин та наслідків аварії, власні геоecологічні та геохімічні дослідження басейну р. Дністер від Стебницького хвостосховища до Дністровського водосховища.

Калійні руди Стебницького родовища мають полімінеральний склад. Вони містять багаті й своєрідні асоціації сольових мінералів, які належать до водних і безводних хлоридів, хлорид-сульфатів та сульфатів K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} [9]. Головними мінералами покладів калійних солей звичайно є **галіт, каїніт та лангбейніт**. Оскільки два останні мінерали є головними рудами на калій та магній, то 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 та лангбейнітом локалізований буферний мінерал – кізерит, а вся мінеральна асоціація має зональну будову: усередині лангбейніт, далі кізерит, а по контуру каїніт. Власне така анатомічна будова асоціації свідчить про вторинне походження каїніту внаслідок заміщення лангбейніту і кізериту.

До другорядних мінералів, які наявні в калійних рудах у невеликих кількостях (до 10 %), належать силвін, полігаліт, кізерит, шеніт, епсоміт, леоніт і карналіт. Іноді трапляються тіла кондиційних руд, складені цими мінералами: **силвінові, полігалітові, карналітові**, які можуть мати промислове значення. У вигляді домішок до 1 % виявлено астраханіт, гексагідрит, ангідрит, гіпс, зрідка вантгофіт [2, 5, 7, 11, 12, 15]. Важливу роль у складі калійних порід відіграють глинисті мінерали **хлорит та гідролюда**, а також теригенні мінерали кварц і польовий шпат, та мінерали-домішки – кальцит і доломіт.

Технологічну схему переробки калійно-магнієвих руд з доміантним каїніт-лангбейнітовим складом Стебницького родовища розроблено 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 1 т руди, осадженні нерозчинного глинистого залишку і відокремленні від осаду висвітленої висококонцентрованої ропи та кристалізації з неї калі-магнезію. Проте полімінеральний склад калійних руд і високий вміст у них глинистого матеріалу (10–15 %, іноді до 20 %) значно ускладнювали технологію їхньої переробки. Практично ця технологія виявилася дуже недосконалою. У відходи потрапляли не тільки глинистий матеріал та недорозчинений полігаліт і галіт, а й ропа з високим вмістом хлористого натрію та калійно-магнієвих солей. 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.

Під час вишукувальних робіт та проектування хвостосховища збагачувальної фабрики Стебницького калійного заводу головними напрямами з гарантування екологічної безпеки та мінімізації негативного впливу були захист довкілля від фільтраційних втрат, руйнування огорожувальної дамби, запилення атмосферного повітря. З цією метою, враховуючи близькість території до бальнеологічного курорту Трускавець, вибрано найбільш вдале місце у басейні р. Тисмениця, її лівої притоки р. Солониця та лівого Безіменного допливу між північною околицею м. Стебник, селами Болехівці та Раневичі.

У геологічній будові території Стебницького хвостосховища беруть участь осадові моласові відклади міоцену, які представлені верхньоворотинською, стебницькою, нижньо- та верхньобалицькою світами.

За геоструктурними особливостями територія хвостосховища розміщена в межах Внутрішньої зони Передкарпатського прогину, яка формувалась на донеогеновому фундаменті в умовах активних тектонічних рухів у зоні впливу прикарпатського

глибинного розлому між флішовою формацією Карпат та моласовою формацією прогину. Породи, які формують Внутрішню зону, утворюють складки, нерідко закинуті й насунуті у північно-східному напрямі, що надає зоні лускоподібної будови. Тектонічні рухи марковані незгідним характером залягання неогенових відкладів, їхнім брекчіюванням, наявністю як дрібних порушень, так і великих лінеаментів.

З тектонічних позицій, як виявилось у ході з'ясування причин аварії, західна частина дамби секції № 2 хвостосховища, саме по лінії пікетів 7 та 8 локалізована на тектонічному розломі (регіональному лінеаменті), де за результатами сейсмічного мікрорайонування зафіксовано сейсмічність, що дорівнює не нормативним 6 балам, а 7 (рис. 2).

Корінна неогенова товща потужністю понад 3 км перекрита суцільним, малопотужним чохлом четвертинних відкладів. Загальна потужність четвертинних відкладів – від 5 до 18 м. Четвертинні відклади представлені елювієм соленосних верхньоворотинських відкладів – гіпсово-глинистою шапкою, делювіальними глинами та суглинками, алювіальними відкладами надзаплавних терас зі старичною фацією та субфацією внутрішньозаплавних водойм (боліт); це тонко- та дрібнозернисті піски, супіски з включеннями гравію, щебеню, гальки порід карпатського флішу та лінзами торфовмісних мулів.

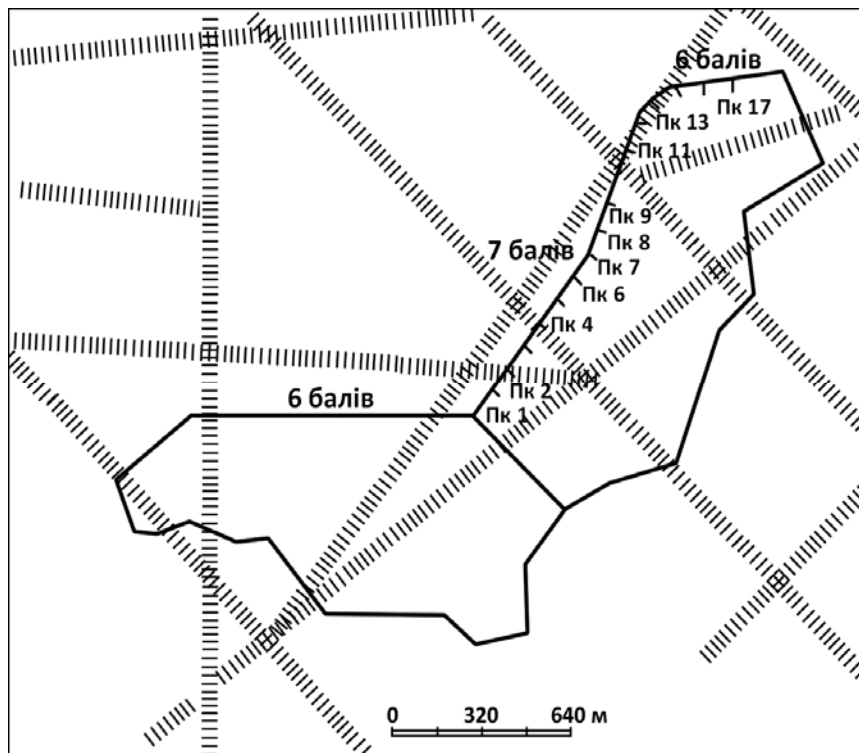


Рис. 2. Тектонічні порушення, великі лінеаменти території, прилеглої до Стебницького хвостосховища.

Така геологічна будова є типовою для Передкарпатського прогину. Згідно з матеріалами інженерно-геологічних розшукув, алювіальні відклади слугували основою огоро-

джувальної дамби, а елювіально-делювіальні суглинки використовували для відсіпання її тіла за умови якісного ущільнення. Використання неогенових глин для відсіпання тіла дамби не допускалося.

На ділянці будівництва західної дамби секції № 2 у заплаві потічка Безіменного простежено глибокий ерозійний уріз до абсолютних відміток 280 м і нижче, а на ділянці зведення східної дамби абсолютні відмітки досягають 310 м і вище. Детальний аналіз карти покрівлі неогенових відкладів засвідчує, що на ділянці майбутнього прорану є найбільші значення кута ухилу контакту неогенових глин та четвертинних суглинків від вододільного масиву у бік Безіменного потічка. На інших ділянках він значно менший.

Забезпечити ескавацію елювіально-делювіальних суглинків для відсіпання тіла дамби без неогенових глин можна було б лише за належного контролю кожної партії ґрунту, оскільки контакт між неогеновими та четвертинними відкладами нечіткий, хвилястий, з глибокими врізами. Про це свідчать відслонення в бортах Солецького кар'єру, розташованого поряд з ділянкою будівництва Стебницького хвостосховища (рис. 3).



Рис. 3. Нерівний, нечіткий, хвилястий, з глибокими врізами контакт між неогеновими та четвертинними відкладами у борті Солецького кар'єру, розташованого поряд з ділянкою будівництва Стебницького хвостосховища.

За умови точного виконання вимог проекту будівництва хвостосховища такі природні умови та геологічна будова були досить сприятливими з гідрогеологічних позицій: неогенові відклади – водотривкі, є природним регіональним геохімічним бар'єром, горизонти різнофасіального четвертинного водоносного комплексу поширені локально, тому можливі фільтраційні втрати суттєво не впливали на якість підземних вод, у тому числі в найближчих населених пунктах. Однак, як виявилось у ході розслідування причин гідродинамічної аварії, до 12–15 % тіла дамби було складене саме неогеновими глинами з огляду на через нерівний, нечіткий, хвилястий, з глибокими врізами контакт між неогеновими та четвертинними відкладами. Крім того, у тілі дамби виявлено заторфовані суглинки, а передноворічна “штормовщина” для виконання плану у листопаді–грудні 1976 р. призвела до того, що, імовірно, у цей час у тіло дамби потрапили мерзлі ґрунти, що категорично неприпустимо.

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

До вагомих техногенних причин гідродинамічної аварії належить і те, що секцію № 2, на відміну від секції № 1 хвостосховища, використовували винятково як відстійник високомінералізованої ропи без намівання пляжів твердої фази, тоді як намівання пляжів твердої фази хвостів збагачення суттєво б укріпило тіло дамби, зокрема, і на ослабленій ділянці (рис. 4).



Рис. 4. Намив пляжів хвостів збагачення по внутрішньому контуру дамби секції № 2 Стебницького хвостосховища суттєво поліпшив би гідродинамічну стійкість та мінімізував ризики виникнення аварійної ситуації.

Згідно з проектом, головне функціональне призначення двосекційного хвостосховища полягало у відстоюванні соляно-глинистої пульпи та безпечному і надійному зберіганні ропи різної мінералізації з середнім значенням близько 300 г/л (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Хімічний склад ропи хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал». Секція 2, південна ділянка, ПК2 [1]

Номер проби	Глибина, м	K ⁺ , г/л	Na ⁺ , г/л	Ca ²⁺ , г/л	Mg ²⁺ , г/л	SO ₄ ²⁻ , г/л	Cl ⁻ , г/л	HCO ₃ ⁻ , г/л	Сума, г/л
1	0,1	12,94	36,58	0,24	8,52	22,14	77,00	0,12	157,54
2	0,5	12,94	47,98	0,24	8,23	31,83	86,62	0,07	187,91
3	1,0	13,86	53,32	0,24	9,68	34,11	98,17	0,09	209,47
4	1,5	15,50	48,89	0,24	11,43	36,38	96,25	0,14	208,81
5	2,0	15,56	51,07	0,24	10,25	36,38	96,25	0,12	209,87
6	2,5	19,00	62,71	0,24	13,14	65,94	103,90	0,19	265,12
7	3,0	29,05	80,63	0,24	21,81	97,78	142,40	0,24	372,15
8	3,5	33,20	79,86	0,24	24,99	95,50	155,92	0,20	389,91
9	4,0	35,27	82,81	0,24	27,31	97,78	167,47	0,17	411,05
10	4,5	34,21	79,60	0,24	26,44	95,50	160,70	0,18	396,87
11	5,0	35,27	80,26	0,24	27,02	100,50	160,70	0,14	404,13
12	6,0	35,27	79,51	0,24	27,60	101,19	160,70	0,17	404,68
13	9,0	36,21	93,02	0,24	24,70	129,61	153,0	0,20	436,98

За проектних умов функціонування хвостосховище є усталеним джерелом незначного гідрохімічного забруднення річкових вод. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні

умови території, вибраної під будівництво Стебницького хвостосховища, є типовими для Передкарпатського прогину, достатньо сприятливими для облаштування такого типу об'єктів. Водночас неоднорідність та фаціальна мінливість четвертинних відкладів, наявність субфаций заплавної водойми (боліт), можливе неврахування цієї специфіки в разі відсипання огорожувальної дамби було однією з імовірних причин гідродинамічної аварії.

На початку 80-х років XX ст. експлуатація Стебницького хвостосховища протягом тривалого часу відбувалась на критичних значеннях вище проектною відмітки на 0,5 м допустимих рівнів ропи. У ході наповнення чаші хвостосховища ропою не враховували дані моніторингових спостережень щодо підвищених рівнів підземних вод в оглядових колодязях.

Таблиця 2

Хімічний склад ропи хвостосховища Стебницького ГХП "Полімінерал".
Секція 2, північна ділянка, ПК9 [1]

Номер проби	Глибина, м	K ⁺ , г/л	Na ⁺ , г/л	Ca ²⁺ , г/л	Mg ²⁺ , г/л	SO ₄ ²⁻ , г/л	Cl ⁻ , г/л	HCO ₃ ⁻ , г/л	Сума, г/л
1	0,1	12,10	35,06	0,47	8,5	29,50	68,86	0,06	154,55
2	0,5	12,94	29,37	0,24	11,41	25,01	72,18	0,11	151,26
3	1,0	12,94	37,08	0,24	8,81	29,56	73,15	0,11	161,89
4	1,5	12,94	34,74	0,24	8,81	27,28	71,22	0,12	155,35
5	2,0	12,94	40,12	0,24	9,10	31,83	77,00	0,09	171,32
6	2,5	12,94	40,91	0,24	9,40	30,70	79,91	0,13	174,23
7	3,0	13,86	46,02	0,24	10,40	38,60	85,72	0,14	194,98
8	3,5	21,74	58,02	0,24	17,19	54,57	119,36	0,17	271,29
9	4,0	26,97	72,53	0,24	21,53	69,35	148,20	0,22	339,04
10	4,5	26,97	75,84	0,24	22,39	70,49	154,99	0,19	351,11
11	5,0	26,97	76,30	0,24	22,80	70,50	157,80	0,18	355,79
12	5,5	26,97	76,67	0,24	22,97	70,50	158,87	0,17	357,39
13	6,0	29,05	79,02	0,24	23,41	78,45	158,86	0,21	369,24

Перші передвісники майбутньої гідродинамічної аварії – тріщини у тілі дамби між пікетами 7 та 8 секції № 2 внаслідок нарощування дамби до проектною відмітки – задокументовані ще у квітні 1983 р. Замість того, щоб припинити закачування рідкої фази до з'ясування причин утворення тріщин, було вирішено припинити навантажування зсувонебезпечної ділянки та "косметично" "залікувати тріщини", а після стабілізації ситуації продовжити нарощування. Про це свідчать дані моніторингу за станом дамби (табл. 3).

Спусковим гачком гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі став проливний дощ, який тривав три доби, коли з 12 по 14 вересня 1983 р напередодні прориву 15 вересня 1983 р. випала місячна норма опадів (рис. 5).

Гідродинамічна аварія 15 вересня 1983 р. стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) та суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників, а саме:

Таблиця 3

Витяг з даних моніторингу за станом дамби у 1989 р.

Дата	Стан дамби	Прийняті міри
21.04.1983	Після завезення ґрунту 20.04.1983 на гребінь дамби, на ПК7 паралельно до низової брівки за 1 м від неї з'явилася тріщина на гребені дамби завширшки 1–2 см та завдовжки 30 см	Тимчасово припинено нарощування тіла дамби
28.04.1983	Тріщина розширилась до 5 см, осідання низового відкосу становило близько 20 см	З гребеня частково знято укладений раніше ґрунт
5.05.1983	Після щоденних дощів з 29.04.1983 по 5.05.1983 випало 37,8 мм опадів, довжина тріщини зросла до 80 см	20.05.1983 виконано роботи з заліковування тріщин
20.05.1983–14.09.1983	За чотири місяці випала піврічна норма опадів, у тому числі за останні три дні – місячна норма опадів (рис. 5). Змін у стані дамби та її відкосів не виявлено	

а) невідповідність проектним вимогам технології – недостатнє трамбування, а також матеріали та ґрунти, 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. 6);



Рис. 5. Кількість опадів у вересні 1983 р [15].

б) секцію № 2 хвостосховища використовували винятково 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 стали причиною того, що ропи почали фільтруватись та 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 колодязях та первинних деформацій тіла дамби за умов переповнення хвостосховища вище проектної відмітки на 0,5 м;

д) надмірна кількість опадів, коли напередодні прорану з 12 по 14 вересня 1983 р. йшов проливний дощ та випала місячна норма (див. рис. 5).

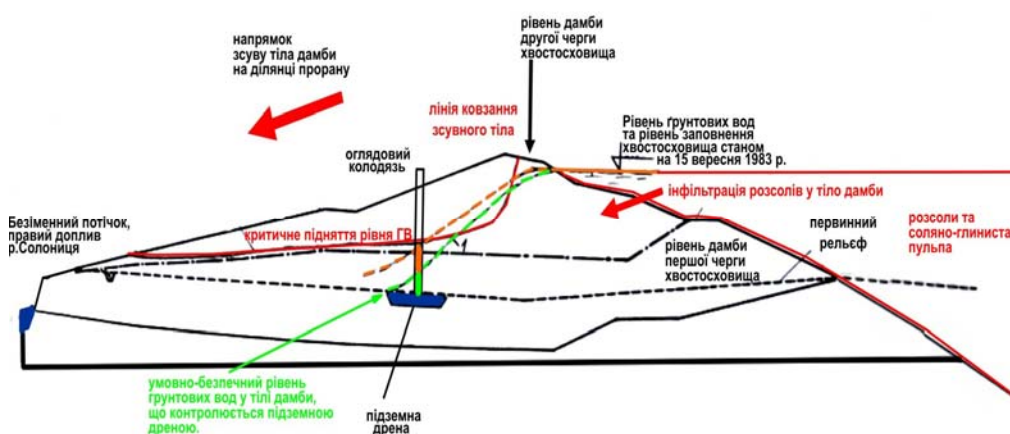


Рис. 6. Принципова схема незадовільної роботи дренажної системи, обводнення тіла дамби та локалізації лінії ковзання зсуву на ділянці прорану 15 вересня 1983 р [7].

Аварійному прориву тіла дамби Стебницького хвостосховища передувало обводнення ґрунтової основи між пікетами 7 та 8, перетворення її на пливун та просідання, зафіксоване робітниками Львівського спеціалізованого управління № 605, які добудували секцію № 2, о 9 год 30 хв 15 вересня 1983 р. О 14 год цього ж дня зафіксовано утворення тріщин, через які почала витікати високомінералізована ропа. Цього ж дня, о 18 год 05 хв відбулась активізація зсуву, утворення хвилі прориву й ерозійний розмив завширшки до 55 м по гребеню та 20 м на рівні дна [5]. Відразу після аварії експерти задокументували дзеркала зсуву по включеннях неогенових глин на ділянках обводнення та розущільнення в тілі дамби.

Після зміщення зсувного тіла відбувся гідродинамічний прорив дамби, який за перепаду рівнів ропи 14 м був потужним селевим потоком, що живився з підпору високомінералізованої ропи з переповненої чаші секції № 2 Стебницького хвостосховища до короткочасного повного спрацювання наявних запасів – понад 5 млн м³. Некерований селевий потік високомінералізованої ропи витікав п'ять годин (99 % за три години, решта – за дві години), через прорив у тілі дамби потрапив за межі контуру хвостосховища в русло Безіменного потічка (рис. 7).

Початковою фазою гідродинамічної аварії був миттєвий прорив дамби, швидкий ерозійний розмив та некерований потік високомінералізованої ропи з верхнього б'єфа

через тіло дамби у нижній б'єф через проран трапецієподібної форми площею 483 м^2 , через який середня витрата протягом трьох годин становила $450 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 8).

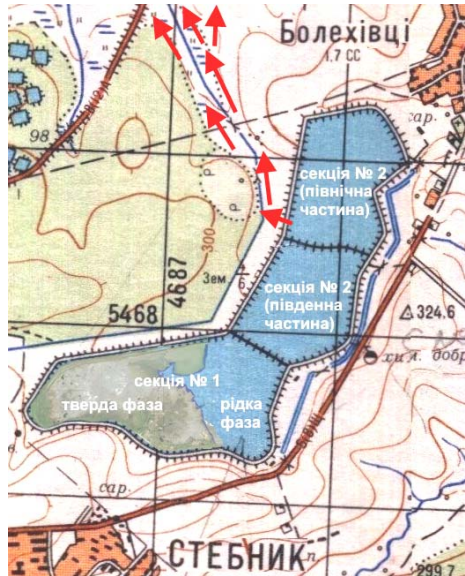


Рис. 7. Місце прориву дамби та первинного поширення високомінералізованої ропи по руслу потічка Безіменний 15 вересня 1983 р [7].

Для порівняння, середня витрата р. Дністер, у який через добу потрапив потік ропи, за даними В. Стецюка, становить від 10 (гірло Тисмениці–гірло Стрию) до $80 \text{ м}^3/\text{с}$ перед Дністровським водосховищем (рис. 9).

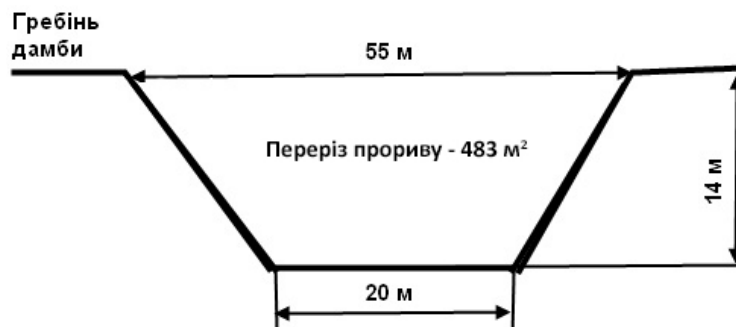


Рис. 8. Розміри та площа прориву у тілі дамби Стебницького хвостосховища між пікетами 7 та 8.

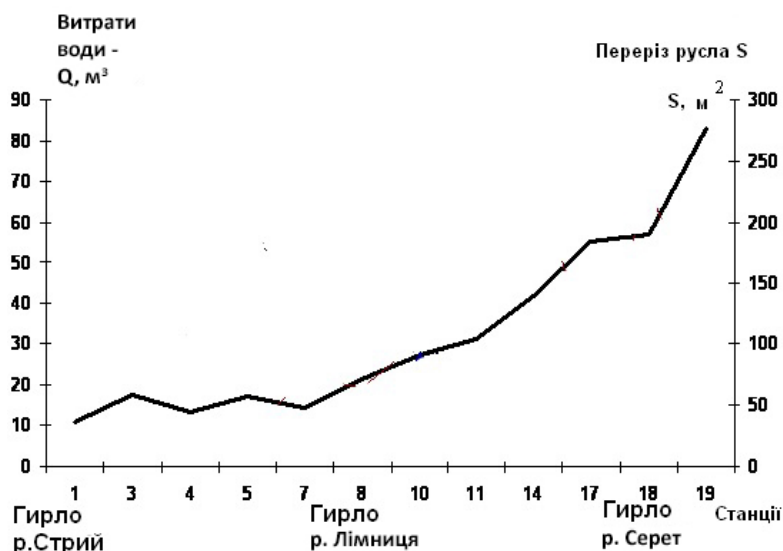


Рис. 9. Середні витрати води в руслі р. Дністер у створах від гирла Тисмениці–гирла р. Стрий ($10 \text{ м}^3/\text{с}$) до Дністровського водосховища ($80 \text{ м}^3/\text{с}$).

Селевий потік, рухаючись по руслу Безіменного потічка, закольматував мостові переходи та не зміг безперешкодно подолати перші на своєму шляху перешкоди – насипи автомобільної дороги Львів–Трускавець та залізничної колії Стрий–Дрогобич перед впадінням у р. Солониця. Вони виявилися стійкими механічними бар'єрами, які на кілька годин стримали основну масу рідких соляних відходів.

Природно, що величезна маса відходів, яка надходила з дебітом $450 \text{ м}^3/\text{с}$, не могла пройти через переріз русел потічка Безіменного, р. Солониця і навіть р. Тисмениця. Нерівномірний та несталий характер руху потоку по всій трасі розтікання зумовлені змінними значеннями його гідродинамічних параметрів.

Унаслідок цього першим негативним екологічним наслідком аварії Стебницького хвостосховища стало катастрофічне затоплення місцевості в заплаві р. Тисмениця на території сіл Раневичі, Почаєвичі та Михайлевичі. Ропи та соляно-глиниста пульпа забруднили всю навколишню територію (річки, сади, городи, поля, ліси) площею 251 га . Це завдало величезної шкоди флорі й фауні цього району, а також гідробіонтам річок Тисмениця та Солониця, якості вод у місцевих водозаборах. Другий катастрофічний негативний екологічний наслідок Стебницької аварії – катастрофічне забруднення надзаплавних терас від Стебника до с. Тершаків на р. Дністер, куди високомінералізований потік дійшов протягом доби і де суттєво була порушена якість підземних вод.

Третім катастрофічним негативним екологічним наслідком Стебницької аварії стало катастрофічне забруднення річкових вод від с. Тершаків до Дністровського водосховища у Чернівецькій обл., яке тоді ще лише будували. За свідченням очевидців, з наближенням високомінералізованого плюму вниз по течії р. Дністер величезні косяки риби інстинктивно втікали від неминучої загибелі вгору по течії допливів. Риби та інші гідробіонти, які не встигли втекти, гинули. Від гирла Солониці та Тисмениці до Дніст-

ровського водосховища загинуло сотні тисяч тонн риби, збитки, завдані довкіллю, оцінено у 100 млн радянських карбованців (рис. 10).

Рух плюму висомінералізованих розсолів був зупинений греблею та водною товщею Дністровського водосховища. Станом на 1983 р. тут було близько 1 млрд м³ води за середньої мінералізації 0,3–0,4 г/л. За умови повного змішування 5 млн м³ ропи з мінералізацією 300 г/л середня мінералізація суміші, обчислена за формулою змішування Огільві (1), повинна становити 1,84 г/л:

$$C = (C1M1 + C2M2)/(M1 + M2) \quad (1)$$

де C1 – концентрація досліджуваного компонента в об'ємі води M1; C2 – концентрація досліджуваного компонента в об'ємі води M2; C – концентрація досліджуваного компонента в суміші.

Водночас цілком очевидно, що далеко не всі 100 % ропи дійшли до Дністровського водосховища. Певна їхня частина, за нашими розрахунками – 10–20 %, була вилучена внаслідок взаємодії розсолів висомінералізованого плюму–алювіальні відклади. Крім того, за повідомленнями екологічних організацій, близько 1 млн м³ – 1,2 млн т дійшли до Дністровського водосховища у практично незміненому стані та осіли там на дно. Врахувавши ці поправки та виконавши розрахунки зі змішування 1 млрд м³ прісної води з мінералізацією 0,35 г/л із 3 та 4 млн м³ ропи, отримаємо цифри з мінералізацією води у Дністровському водосховищі на рівні 1,24–1,54 г/л. Саме такою, очевидно, була мінералізація води у Дністровському водосховищі у перший тиждень після аварії 15 вересня 1983 р. Поблизу греблі, у придонній частині Дністровського водосховища, у цей час сформувалась гравітаційно-диференційована товща, з високомінералізованою ропою (мінералізація вища за 300 г/л) на дні, перехідною зоною потужністю до 12 м із шарами по 1,5–3,0 м з мінералізацією 300–200, 200–100, 100–50, 50–35, 35–20, 20–5, 5–1,24 (1,54) г/л, основною верхньою водною товщею з мінералізацією до 1,24–1,54 г/л.

Наведені вище результати прогнозних розрахунків характеризують склад води у Дністровському водосховищі за умови повного змішування визначених об'ємів плюму високомінералізованої ропи з прісними водами водосховища. Проте за умови температурної сегрегації водних товщ змішування вод різного хімічного складу може бути неповним та нерівномірним у часі й просторі. Причиною температурної сегрегації водних товщ є загальновідомий факт про те, що за температури 4 °С вода має найвищі значення густини, а з нагріванням уже на кілька градусів “полегшується” (рис. 11).

Наочно довести явища неповного, нерівномірного в часі й просторі змішування плюму високомінералізованої ропи з прісними водами Дністровського водосховища в умовах температурної сегрегації можна за допомогою проведеного нами експериментального моделювання. Для цього в паралелепіпедоподібний лоток (модельний аналог Дністровського водосховища) попередньо залили охолоджену до температури 4 °С прісну воду до рівня її витоку. Після цього у лоток почали подавати попередньо приготовлену забарвлену воду з мінералізацією 3 г/л, що мала температуру 12 °С та була модельним аналогом забрудненого плюму. У міру надходження “модельного забрудненого плюму” у “модельне водосховище” проводили відео- та фотофіксацію спостережуваних явищ.

З наведених світлин бачимо, що спочатку відбувається “пірнання” модельного забрудненого плюму у придонну частину лотка та його домінантне донне поширення. Проте згодом забруднена вода з мінералізацією 3 г/л поширюється й у приповерхнево-

му шарі аж до витоку з “водосховища”. У цьому разі чітко виявляється геохімічний ефект “розклинювання” плюму забруднених вод за умови температурної сегрегації.



Рис. 10. Загибель сотень тисяч тонн риби на ділянці від гирла Солониці та Тисмениці до Дністровського водосховища після проходження плюму висомінералізованих розсолів унаслідок гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі.

Температурна сегрегація води зумовлена залежністю густини води від температури і мінералізації. Цю залежність приблизно оцінюють за формулою [7]

$$\rho = 1 + 0,0006 * M - 0,0002 (T - 4) \text{ г/см}^3,$$

де M – мінералізація води, г/л; T – температура, °С.

Мінералізація води у Дністровському водосховищі змінюється в невеликих межах: від 30–45 мг/л для дощової води до 300–450 мг/л для річкової та до 3,5 г/л для підземних вод із закарстованої гіпсоангідритової товщі. Отже, різниця густин між дощовою та підземною водою ($M = 3,5$ г/л) завдяки мінералізації може досягати $0,0006 \times 3,5 = 0,0021$ г/см³. Водночас для річкової води в разі переохолодження від 12 до 4 °С різниця густин може досягати приблизно тих самих значень $0,0002 \times 12 = 0,0024$ г/см³.

Звідси випливає, що важкі високомінералізована ропа та засолені води, які дійшли від Стебника, “пірнули” на дно водосховища, де гравітаційно стратифікувались та перебували тривалий час, а води з мінералізацією менше 3 г/л поширювались у

приповерхневому шарі по площі всього водосховища за умови температурної сегрегації та перетікали через його дамбу в напрямі до Дубосарського водосховища.

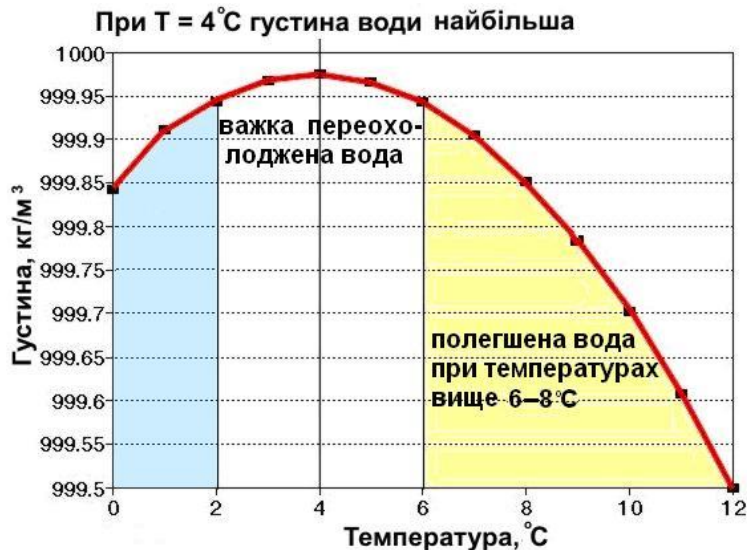


Рис. 11. Графік залежності густини дистильованої води від температури [13].

З наведених даних випливає, що вода, яка перетекла через дамбу Дністровського водосховища, мала мінералізацію від 1,5 до 3,0 г/л, хоча ще не відповідала санітарно-гігієнічним вимогам до питних вод, проте вже не призводила до загибелі риб на ділянці санітарного стоку вниз по течії в напрямі до Дубосарського водосховища у Молдові. Дійшовши до Дубосарського водосховища, забруднена внаслідок гідродинамічної аварії на Стебницькому хвостосховищі дністровська вода вже мала до мінералізацію, яка відповідала вимогам до питних вод, та все ж була вищою від природного фону мінімум удвічі – на рівні 0,7–0,8 г/л.

Отже, навіть після скидання з Дубосарського водосховища аж до Дністровського лиману біля Чорного моря річкова вода у Дністрі через два тижні після аварії містила відходи флотаційного збагачення. На підставі наведених розрахунків виділено контури зон катастрофічного забруднення річкових вод від с. Тершаків до Дністровського водосховища у Чернівецькій обл., значного забруднення від Дністровського до Дубосарського водосховища та помірного забруднення від Дубосарського водосховища до Дністровського лиману біля Чорного моря внаслідок прориву дамби Стебницького хвостосховища у період з 16 по 30 вересня 1983 р. (рис. 12).

Аварія на Стебницькому хвостосховищі 15 вересня 1983 р. стала найбільшою техногенною катастрофою для екосистеми р. Дністер, завдала 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, оскільки саме по дну поширювалась важка соляна ропа, а також нерестилища гідробіонтів аж до Чорного моря. Унаслідок гідродинамічної аварії різко погіршилась якість непроточної води у Дністровському водосховищі: тут у 80-ті роки ХХ ст. на дні

виявили шар високомінералізованої ропи сумарним об'ємом близько 1 млн м³. Вище від придонного шару був перехідний прошарок з підвищеним вмістом основних іонів – калію, натрію, магнію, кальцію, сульфат- та хлорид-іону.

У басейні Дністра проживає понад 10 млн людей, дністровську воду споживає понад 5 млн людей, у тому числі місто-мільйонер Одеса за межами басейну ріки. Як з'ясовано вище, у перші два тижні після аварії дністровська вода за хімічним складом на 85 % русла не відповідала санітарно-гігієнічним вимогам до питних вод. Однак, як засвідчують розрахунки за формулою Огільві, уже на третій тиждень після аварії вода почала самоочищатись завдяки природним процесам: змішування з чистими водами, сорбції та ін. У режим заповнення Дністровського водосховища, яке тривало до 1987 р., були внесені корективи, згідно з якими придонну забруднену воду відкачували та після розведення до нормативних показників скидали нижче за течією.



Рис. 12. Контури зон катастрофічного забруднення річкових вод від с. Тершаків до Дністровського водосховища у Чернівецькій обл., значного забруднення від Дністровського до Дубосарського водосховища та помірного забруднення від Дубосарського водосховища до Дністровського лиману біля Чорного моря внаслідок прориву дамби Стебницького хвостосховища у період з 16 по 30 вересня 1983 р.

За розрахунками, відновлення гідрохімічного складу вод тривало до десяти років.

Наші дослідження Дністровського водосховища, проведені через тридцять років після аварії, улітку 2014 р. не виявили ознак сольового забруднення придонного шару води, які можна було б пов'язати з гідродинамічною аварією на Стебницькому хвостосховищі 15 вересня 1983 р. Для цього ми випробували придонний шар води Дністровського водосховища на відстані від 100 до 1 400 м від греблі (через 100 м). Результати досліджень наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати хімічного складу проб води,
відібраних з придонного шару Дністровського водосховища

Компоненти, мг/л	Точки відбору (n) з придонного шару, розташовані на відстані n*100 м від греблі						
	1	2	3	4	4	6	7
pH	7,2	7,5	7,55	7,65	7,6	7,7	7,7
HCO ₃ ⁻	256,3	219,7	256,3	256,3	244,1	260,3	244,2
Ca ²⁺	102,9	80,2	98,9	97,5	92,2	89,5	88,2
Mg ²⁺	4,9	6,1	7,3	13,7	10,9	17,5	17,0
K ⁺	15,0	12,0	12,0	13,0	12,0	11,0	13,0
Na ⁺	23,0	20,0	17,0	16,0	17,0	16,0	18,0
Cl ⁻	36,8	30,5	33,3	34,5	36,2	35,1	33,9
SO ₄ ²⁻	74,8	59,6	75,2	77,3	72,5	82,2	73,1
Мін., мг/л	513,7	428,1	500,0	508,3	484,9	511,6	487,4
Сух. залишок	340	310	350	360	360	360	360

Компоненти, мг/л	Точки відбору (n) з придонного шару, розташовані на відстані n*100 м від греблі						
	8	9	10	11	12	13	14
pH	7,65	7,8	7,85	7,9	7,8	7,8	7,75
HCO ₃ ⁻	219,7	203,4	219,7	203,4	256,3	256,3	256,3
Ca ²⁺	76,2	73,5	72,1	69,5	90,8	89,5	98,9
Mg ²⁺	17,0	10,1	17,0	16,3	11,8	7,7	6,9
K ⁺	12,0	9,0	9,0	9,0	11,0	11,0	12,0
Na ⁺	16,0	17,0	15,0	15,0	17,0	23,0	18,0
Cl ⁻	29,9	31,6	30,5	32,8	35,1	33,3	35,6
SO ₄ ²⁻	68,6	67,9	70,3	70,9	60,8	83,6	40,0
Мін., мг/л	439,4	412,5	433,6	416,9	482,8	504,4	467,7
Сух. залишок	320	320	320	310	360	350	370

Хімічні аналізи виконано в Інституті гірничо-хімічної сировини ВАТ "Гірхімпром", аналітик Мирослав Ковальчук.

За результатами виконаних досліджень можна зробити такі висновки.

1. З'ясовано, що гідродинамічна аварія 15 вересня 1983 р. на Стебницькому хвостосховищі стала наслідком збігу кількох об'єктивних (природних) та суб'єктивних (техногенно-технологічних) чинників:

а) розташування хвостосховища на території з неоднорідним літологічним складом корінних порід та четвертинних відкладів, невитриманим контактом між ними, з

підвищеною мікросейсмічністю, пов'язаною з регіональними лінеаментами та локальними розривними порушеннями;

б) використання як ґрунту для відсіпання тіла дамби неогенових глин, оторфованих та мерзлих суглинків, їхнє недостатнє ущільнення та підвищена вологість;

в) використання секції № 2 винятково як відстійника високомінералізованої ропи, не намівання пляжів твердої фази хвостів збагачення по внутрішньому контуру дамби;

г) експлуатація хвостосховища протягом тривалого часу на критичних значеннях вище проектної відмітки на 0,5 м допустимих рівнів ропи, неврахування в ході наповнення чаші хвостосховища ропою даних моніторингових спостережень щодо підвищених рівнів підземних вод в оглядових колодязях;

д) неврахування під час експлуатації хвостосховища передвісників майбутньої аварії – тріщин між пікетами 7 та 8, у тілі дамби, які з'явилися за п'ять місяців до аварії, їхнє “косметичне” “заліковування” та продовження нарощування, замість зниження рівня розсолів та капітального укріплення;

е) незадовільна робота дренажної системи, наслідком чого стало обводнення тіла дамби та формування пливуну;

є) триденний дощ, протягом якого випала місячна норма опадів напередодні аварії, як її “спусковий гачок”;

ж) формування лінії ковзання зсуву та утворення прорану, через який за 3–5 год витекло 5 млн м³, або 6 млн т високомінералізованої ропи.

2. Важливими механічними геохімічними бар'єрами виявились насипи автодороги Львів–Трускавець та залізничної колії Стрий–Дрогобич, які б могли повністю стримати потік високомінералізованої ропи на початковому етапі аварії, а також Дністровське та Дубосарське водосховища. Методом експериментального моделювання визначено геохімічний ефект “розклинювання” плюму забруднених вод, які дійшли до Дністровського водосховища, важкі високомінералізована ропи та засолені води “пірнули” на дно, де гравітаційно стратифікувались та перебували тривалий час, а води з мінералізацією менше 3 г/л поширювались у приповерхневому шарі по площі всього водосховища та перетікали через його дамбу в напрямі до Дубосарського водосховища.

3. Найбільш негативними були первинні геохімічні наслідки Стебницької аварії, коли загинули сотні тисяч тонн риби та утворився придонний прошарок високомінералізованих розсолів у Дністровському водосховищі. Водночас віддалених наслідків для Дністровського водосховища через 31 рік після аварії, а саме: ознак сольового забруднення, не виявлено. До віддалених наслідків аварії можна зачислити підвищену мінералізацію р. Солониця, яка дренує площу водозбору Стебницького хвостосховища.

4. На підставі розрахунків виділено контури зон катастрофічного забруднення річкових вод від с. Тершаків до Дністровського водосховища у Чернівецькій обл., значного забруднення від Дністровського до Дубосарського водосховища та помірного забруднення від Дубосарського водосховища до Дністровського лиману біля Чорного моря внаслідок прориву дамби Стебницького хвостосховища у період з 16 по 30 вересня 1983 р.

5. Для того, щоб гарантувати екологічну безпеку в сучасних складних політичних та екологічних умовах та щоб не повторився сценарій 1983 р., треба врахувати його причини, проводити постійний моніторинг за станом особливо небезпечних гідротехнічних споруд, які містять значні кількості рідких промислових відходів, що

становлять не тільки гідродинамічну, а й екологічну небезпеку, насамперед у зоні впливу калійних родовищ Передкарпаття – Стебницького та Калуш-Голинського. За результатами моніторингу треба приймати науково обґрунтовані управлінські рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоніжка П. М. Хімічний та мінеральний склад відходів збагачення калійних руд Стебницького родовища та їхній вплив на довкілля / П. М. Білоніжка, В. О. Дяків // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2009. – Вип. 23. – С. 162–174.
2. Білоніжка П. М. Кристаллы каинита Стебницкого калийного месторождения в Прикарпатьи / П. М. Білоніжка, В. В. Малашевський // Минерал. сб. – 1961. – № 15. – С. 277–284.
3. Білоніжка П. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля / П. Білоніжка, В. Дяків // Праці НТШ. Геол. зб. – 2012. – Т. 30. – С. 199–209.
4. Бондаренко М. Д. Динаміка і прогноз стану геологічного середовища соляних і сірчанних родовищ Передкарпаття : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. геол. наук / М. Д. Бондаренко. – Львів, 2000. – 20 с.
5. Известия. – 1985. – 27 июня.
6. Гайдин А. М. Геофизические методы контроля за движением теплоносителя и пластовых вод / А. М. Гайдин, Г. Д. Филенко, П. И. Черныш // Труды ГИГХС. – 1975. – Вып. 33. – С. 90–97.
7. Заключение по комплексным геолого-гидрогеологическим, инженерно-геологическим и гидротехническим исследованиям участка разрушения плотины секции № 2 хвостохранилища Стебниковского калийного завода / В. М. Шестопапов, Г. В. Лисиченко и др. // Временная комиссия АН УССР. – Киев, 1984. – С. 137.
8. Здановский А. Б. Кинетика растворения природных солей в условиях вынужденной конвекции / А. Б. Здановский. – Л. : Госхимиздат, 1956. – С. 220.
9. Коробцова М. С. Минералогия калийных месторождений Восточного Прикарпаття / М. С. Коробцова // Вопросы минералогии осадоч. образований. – 1955. – Кн. 2. – С. 3–137.
10. Лазаренко Є. К. Мінералогія осадочних утворень Прикарпаття / Є. К. Лазаренко, М. П. Габінет, О. П. Сливко. – Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 1962. – С. 480.
11. Малашевський В. В. Гексагидрит из соляных месторождений Предкарпаття / В. В. Малашевський, П. М. Білоніжка // Минерал. сб. – 1962. – № 16. – С. 441–445.
12. Малашевський В. В. Кристаллы шенита из калийных месторождений Прикарпаття / В. В. Малашевський, П. М. Білоніжка // Минерал. сб. – 1964. – № 18, вып. 1. – С. 99–104.
13. Рыжиков А. П. Авария на Стебниковском хвостохранилище / А. П. Рыжиков // Энергия, экономика, техника, экология. – 1983. – № 4. – С. 53–54.
14. Семчук Я. М. Изучение миграции высокоминерализованных рассолов в районе хвостохранилища Калушского производственного объединения “Хлорвинил” на физической модели / Я. М. Семчук // Совершенствование технологии добычи и переработки калийных руд Прикарпаття : сборник. – Черкассы : ОН ТЭХИМ, № 952ХП-Д84, 1985. – С. 86–95.
15. http://thermo.karelia.ru/weather/w_history.php?town=lvo&month=9&year=1983.

*Стаття: надійшла до редакції 10.06.2016
прийнята до друку 19.10.2016*

**NATURAL-TECHNOGENIC CAUSES
AND EKOLOGIC-GEOCHEMICAL CONSEQUENCES
OF THE HYDRO-GEODYNAMIC ACCIDENT
BY 15 SEPTEMBER 1983 IN STEBNYK TAILINGS**

V. Dyakiv, I. Kytsmur

*Ivan Franko National University of Lviv,
geological faculty, department of ecological and engineering geology and hydrogeology,
4, Hrushevskij Str., Lviv, Ukraine, 79005,
e-mail: dyakivw@yahoo.com*

The retrospective geological and ecological analyzes of all aspects of hydrodynamic accident on September 15, 1983 at Stebnyk tailing that caused the overflow of 5 million cubic meters of highly mineralized brine in the pool of upper Dnister have been carried out. It has been found that the peculiarities of geology, complex morphology of surface contact between Quaternary and Neogene sediments, its heterogeneity, excavation work in the autumn and winter were the minuses of the survey, planning and building of tailing causing the presence of unexpected clays, peat loams and frozen soils. Insufficient tamping of soil by only the wheels of trucks had led to disparity of design requirements of both density and humidity of the dam. During the exploitation of tailing the inwash of solid beach on the inner slopes of dam was not carried out thus decreasing its stability. It has been proved that the sum of above mentioned natural and industrial causes has led to the hydro-dynamic accident, and the rain of monthly rate fallen at 12 – 14 September had become its trigger. We describe the dynamics of hydrodynamic breakthrough dam, spreading salt contamination, mechanical and geochemical barriers to spreading plume of highly brine. A carried out investigations of bottom waters of Dniester reservoir have not found any long term geochemical consequences of salt contamination 31 years after accident.

Key words: potash deposits of Precarpathians, tailing, geochemical barrier, geochemistry of river water, river Dniester, Solonytsya, Tismenitsya, highly mineralized brine.