

9. Корегування рекомендацій по ліквідації рудника „Ново-Голинь” в частині заповнення всіх пустот ІV горизонту розсолами і гіпсо-муловою пульпою (заключний звіт з концерном „Хлорвініл”). - Калуш: ДНДІГ, 1993. – 40 с.

10. Манюк О.Р. Науково-практичні засади захисту докiлля від забруднення високомінералізованими розсолами (на прикладі Калуш-Голинського родовища калійних солей) : дис. канд. наук: 21.06.01 / О.Р. Манюк. – 2009. – 20 с.

11. Проведення моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей : звіт по г/д № 1(396н/08). Частина 1. – Калуш : Державне підприємство „НДІ галургії”, 2008, – 103 с.

12. Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника «Ново-Голинь» за результатами геофізичних досліджень 1995-2004 рр. : звіт ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2005. – 94 с.

13. Продовження моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей у 2009 році : звіт по г/д № 33/09. Частина 1. – Калуш : Державне підприємство „Науково-дослідний інститут галургії”, 2009. – 87 с.

14. Разработка методики геофизического доизучения рудников Пийло и «50-летия Октября» Калуш-Голинского месторождения с составлением карт элементов тектоники и прогноза возможного карстообразования, с выдачей рекомендаций по ведению подземных работ / А.В. Доливо-Добровольский, Е.И. Леонин, И.А. Окружнов // Информационные отчеты по этапам 1, 2, 3. – Ленинград: ВНИИГ, 1989. – 102 с.

15. Результати геофізичного моніторингу на рудних полях відпрацьованих рудників Калуш-Голинського родовища : звіт ПДП „Спецгеологорозвідка”. – Івано-Франківськ, 2008. – 69 с.

16. Семчук Я.М. Разработка рекомендаций по ликвидации рудника им. 50-летия Октября / Я.М. Семчук, Г.А. Горелова, С.С. Коринь [та ін.] // Отчет по теме “Разработка рекомендации по ликвидации рудника им. 50-летия Октября” / Калушский филиал ВНИИГ. – Калуш, 1988. – 73 с.

УДК 504.4(477.86)

**Манюк О.Р., Манюк М.І.**  
*Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИМИ РОЗСОЛАМИ КАЛУШ-ГОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ**

Стаття присвячена вирішенню нагальної проблеми техногенної безпеки держави, яка визначається загрозою забруднення джерел питного водопостачання м.Калуш та Дністровських водозаборів внаслідок накопичення висококонцентрованих розсолів у Домбровському кар'єрі та шламосховищах.

**Ключові слова:** родовище калійних солей, високомінералізований розсіл, інжекційна свердловина, нагнітання, захоронення розсолу, пластові води, модель фільтрації.

Статья посвящена решению проблемы техногенной безопасности государства, которая определяется угрозой загрязнения источников питьевого водоснабжения г.Калуш и Днестровских водозаборов вследствие накопления высококонцентрированных рассолов в Домбровском карьере и шламосборниках.

**Ключевые слова:** месторождение калийных солей, высокоминерализованный рассол, инъекционная скважина, нагнетание, захоронение рассола, пластовые воды, модель фильтрации.

Tekhnogennoy safety of the state, which is determined the threat of contamination of sources of drinkable water-supply Kalush and Dnestr vodozaborov because of accumulation of vysokokontsentrivannykh rassolov in Dombrovskom to the career and shlamoskhovishchakh.

**Key words:** deposit of potassium salts, a brine, injection mining hole, festering, burial places of brine, layer water, model of filtration, highly mineralized.

**Актуальність теми.** Проблема накопичення розсолів з мінералізацією 180–350 г/дм<sup>3</sup> і більше у хвостосховищах та безпосередньо в Домбровському кар'єрі Калуш-Голинського родовища калійних солей неодноразово піднімалася протягом останнього десятиліття на регіональному і державному рівнях та зазначена як одна з найактуальніших у Національній доповіді України про стан навколишнього природного середовища України. Яскравим підтвердженням цього є засідання РНБО України щодо питання “Про пропозицію Ради національної безпеки і оборони України щодо оголошення міста Калуш та Калуського району Івано-Франківської області України зонами надзвичайної екологічної ситуації” та відповідний Указ Президента України № 145/2010 (від 12.02.2010 р.) „Про оголошення міста Калуша та сіл Кропивник та Сівка-Калуська зоною надзвичайної екологічної ситуації” та відповідний закон України 1885-VI [10].

Особливе занепокоєння викликає некероване наповнення Домбровського кар'єру внаслідок літньої повені 2008 р. – протягом 10 місяців водопритоки в кар'єр становили 2,26 млн.м<sup>3</sup> – понад третину об'єму розсолів, накопичених протягом 40 років. Вміст солей при цьому перевищував ГДК в 4,1 раза, хлоридів – у 5,2 рази. У зв'язку з розвитком карстово-суфозійних процесів, збільшенням дренажного впливу прибортової частини кар'єру сучасний стан об'єкта можна охарактеризувати як критичний, що несе загрозу безпеці життєдіяльності населення регіону.

На жаль, методи, які традиційно використовувались під час знешкодження цих відходів, уже не можуть вважатися екологічно прийнятними, і на сьогодні вже не вирішують повністю питань утилізації високомінералізованих розсолів, що з часом може призвести до значної екологічної катастрофи.

На сьогодні, недостатньо висвітлено наукове обґрунтування і результати експериментального вивчення можливості утилізації високомінералізованих розсолів калійних родовищ Передкарпаття у виснажені розробкою поклади вуглеводнів. Низка питань, що мають проблемний характер, недостатньо вивчені як теоретично, так і експериментально, що визначає актуальність проведених нами досліджень.

Отже, **метою цієї роботи є** розробка теоретичних та методичних основ процесу захоронення високомінералізованих розсолів калійних родовищ Передкарпаття у виснажені розробкою поклади вуглеводнів.

Для досягнення вказаної мети в роботі проведено:

- систематизація і узагальнення накопиченого матеріалу щодо високомінералізованих розсолів калійних родовищ Передкарпаття та методів їх знешкодження;
- вивчення особливостей геологічної будови та гідрогеологічних умов досліджуваного району і виявлення сприятливого геологічного об'єкта захоронення високомінералізованого розсолу;
- з'ясування та оцінка сумісності високомінералізованого розсолу – породи-колектора та пластових вод поглинального горизонту;
- прогнозне моделювання фільтрації та міграції високомінералізованих розсолів у водоносному горизонті;
- розроблення комплексу заходів з охорони навколишнього середовища в ході процесу захоронення високомінералізованого розсолу у виснажені розробкою поклади вуглеводнів.

**Аналіз попередніх досліджень.** На основі аналізу численних літературних джерел розглянуто основні етапи розв'язання проблеми знешкодження шкідливих відходів у процесі розробки родовищ калійних солей.

У вирішенні проблеми зменшення техногенного впливу калійних родовищ на навколишнє середовище вагомий внесок зробили такі відомі вітчизняні та зарубіжні вчені, як О.М. Адаменко, Н.М. Джиноридзе, Е.Д. Кузьменко, С.С. Козлов, С.С. Корінь, В.А. Мироненко, Я.М. Семчук, І.І. Ризнич, С.М. Ротькін, Г.І. Рудько та ін [1, 2, 4, 8-10]. За результатами досліджень було закладено теоре-

тичні основи, а деякі з них впроваджені на практиці. З метою покращення екологічної ситуації безпосередньо на Калуш-Голинському родовищі калійних солей Я.М. Семчук [2] вперше запропонував та науково обґрунтував регульоване затоплення гірничих виробок шахти “Калуш” і облаштування в основі солевідвалів хвостосховищ протифільтраційних екранів з метою локалізації ареалів засолення підземних вод за допомогою баражних стінок, ін’єкційних і гідродинамічних завіс. І.І. Ризнич та С.М. Ротькін [8] запропонували захоронення розсолів у глибокі водоносні горизонти юрських та верхньокрейдових відкладів Калуш-Голинського родовища калійних солей, однак несумісність пластових розсолів і розсолу із хвостосховища унеможливили здійснення цього процесу. Відтак, подальші пошуки сприятливих об’єктів та дослідження в цьому напрямку були припинені.

Як показав результат проведених нами досліджень, сучасний рівень вивченості цієї проблеми ще недостатній. Незважаючи на значну кількість праць науковців, дисертацій та загальноючих монографій, які стосуються важливої проблеми знешкодження шкідливих відходів (високомінералізованих розсолів) калійної промисловості, можна стверджувати, що на сьогодні питання, які стосуються захоронення шкідливих відходів (високомінералізованих розсолів) у глибокі водоносні горизонти, мають здебільшого проблемний характер і є недостатньо обґрунтовані. Це обумовлює актуальність проведених досліджень, а відсутність досвіду з утилізації високомінералізованих розсолів у виснажені розробкою поклади вуглеводнів Передкарпаття є основною причиною постановки даної проблеми.

Захоронення промислових стічних вод у продуктивних горизонтах газових родовищ пов’язане з порушенням природного гідродинамічного режиму, тому для здійснення такого процесу необхідне чітке уявлення про геологічну будову і гідрогеологічні умови території та особливості геологічних процесів, які протікають в її межах.

**Методика досліджень.** Нами проведено вивчення літолого-стратиграфічної приуроченості та характеристики продуктивних пластів; вивчено гідрогеологічну характеристику об’єкта захоронення; проведено аналіз фізико-літологічної характеристики колекторів продуктивних пластів і покришок на підставі вивчення зразків керна; проведено аналіз розробки та сучасного стану гідродинаміки нижньобаденського горизонту Гринівського газового родовища [5, 6]. На основі проведених досліджень установлені відповідні вимоги:

- водоносний горизонт повинен знаходитись за межами тектонічної активності, бути приуроченим до зони застійного гідродинамічного режиму і бути непридатним для водозабезпечення населених пунктів;
- поглинальна здатність водоносного горизонту повинна забезпечувати можливість захоронення наміченого об’єму розсолів, а умови його залягання, дренажу та водообміну – надійність ізоляції останніх;
- статичний рівень пластових вод у контурі підземного резервуару повинен бути нижчим поверхні землі.

**Результати досліджень.** Нами встановлено [6], що найбільш придатним для захоронення розсолів є виснажений газовий поклад горизонту НД–8А Гринівського родовища, який належить до пористих, глинистих пісковиків, що залягають в інтервалі глибин 850-1000 м. Води хлоркальцієвого типу, висока їх мінералізація, низький вміст сульфатів та гідрокарбонатів, переважання кальцію над магнієм свідчать про те, що ці відклади знаходяться в гідродинамічній зоні квазізастійного режиму водообміну. У свою чергу пласти-колектори горизонту НД–8А характеризуються добрими фільтраційно-ємнісними властивостями. Пористість пісковиків становить 15%, проникність –  $1,75 \text{ мкм}^2$ . Внаслідок розробки родовища пластовий тиск у горизонті НД–8А знизився від 7,0 до 3,2 МПа. Глинисті відклади вищезалягаючих горизонтів стебницьких порід товщиною 850–935 м забезпечують надійну гідроізоляцію горизонту. Виявлено, що ємність горизонту, як полігону захоронення високомінералізованих розсолів, становить –  $1,7 \times 10^9 \text{ м}^3$  при тому, що на сьогодні кількість надлишкових розсолів у кар’єрах Калуш-Голинського родовища калійних солей сягає  $10 \times 10^6 \text{ м}^3$ .

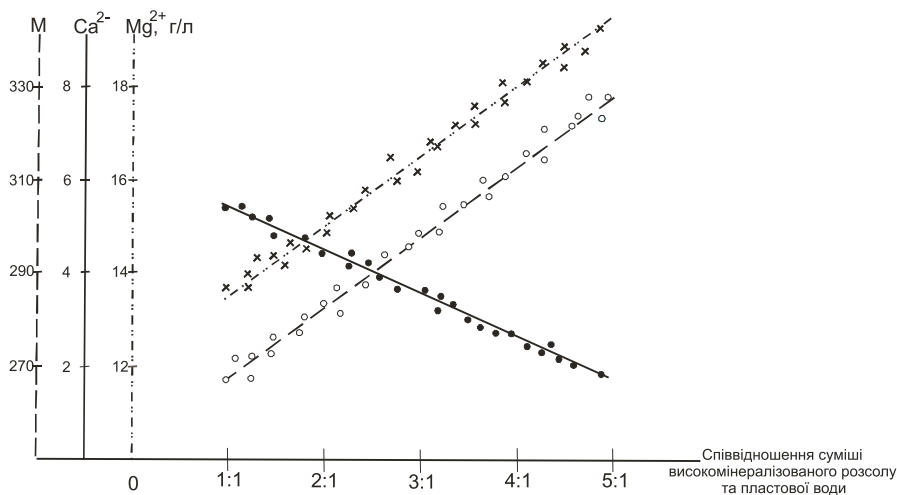
Однією з важливих проблем при захороненні високомінералізованих розсолів у поглинаючі водоносні горизонти виснажених покладів вуглеводнів є оцінка сумісності розсолів, які нагнітаються у пласт, і пластових вод поглинального горизонту, несумісність яких призводить до швидкого зростання тиску на гирлі свердловин внаслідок кольматації її привибійної зони нерозчинним осадом.

Проведене дослідження дало можливість одержати відповіді на практичні питання: наскільки сумісні дренажні розсоли з пластовими водами, і в яких пропорціях слід змішувати ці розчини в процесі підземного захоронення; чи можливе випадання твердого осаду у випадку взаємодії вод різної солоності і відповідного погіршення фільтраційних властивостей колектора та зменшенні ємності масиву.

За результатами досліджень [6] взаємодії дренажних розсолів з породою-колектором поглинального горизонту встановлено, що хімічної взаємодії між розсалом і породою практично не відбувається. Деяке зростання вмісту хлоридів, здебільшого, проходить за рахунок залишкових солей пластових вод, які знаходяться в керні, що дає підставу стверджувати про відсутність процесів хімічної кольматації.

Відповідно дослідження сумісності нагнітаємого розсолу та пластових вод горизонту захоронення встановлено, що дані компоненти не вступають в хімічну реакцію, і при збільшенні співвідношення розсолів та пластової води від 1:1 до 5:1 концентрація компонентів змінюється лінійно (рис.1), що виключає хімічні взаємодії елементів сумішей. Це пояснюється однотипністю йонно-сольового складу вод і абсолютною сумісністю розчинів.

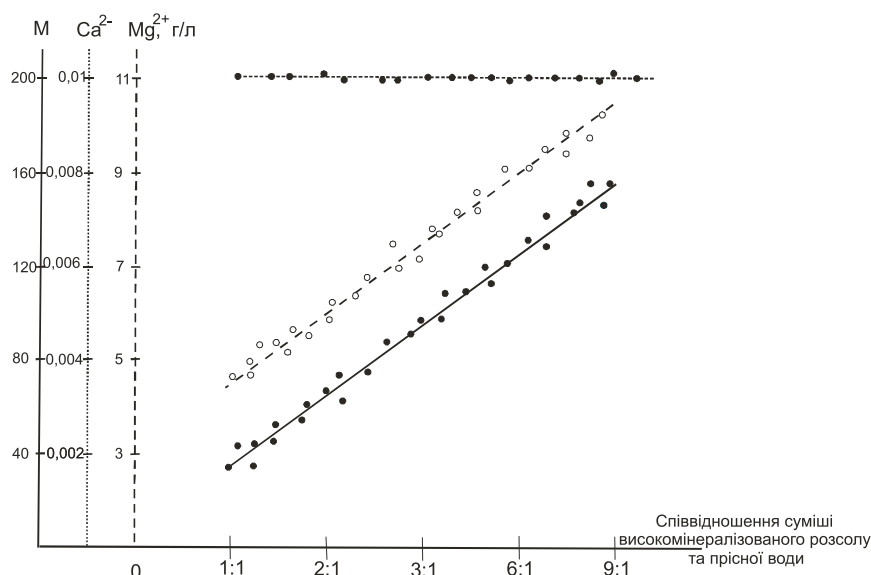
Експериментально доведено [6], що запобігти випаданню солей типу мірабіліту можливо шляхом розбавлення розсолу річковою водою у співвідношенні 1:1–1:9. Встановлено, що із збільшенням розбавленості розсолу знижується насиченість його гіпсом і розчиненими солями (рис. 2). Це дає підстави говорити про те, що розчини розсолів будь-якої концентрації практично придатні для нагнітання у свердловину. Отже, в результаті проведених досліджень експериментально доведено абсолютну сумісність високомінералізованих розсолів та пластових вод об'єкту захоронення.



**Рис. 1. Графік зміни вмісту  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  та загальної мінералізації  $M$  від співвідношення в суміші високомінералізованого розсолу та пластової води**

Проведено прогнозне моделювання фільтрації та міграції високомінералізованих розсолів у водоносних пластах. Відповідно, здійснено гідродинамічні розрахунки основних параметрів процесу захоронення розсолів: приймальної здатності поглинальних свердловин, радіусу розтікання розсолів та підвищення пластового тиску в горизонті НД–8А за один, п'ять, десять, двадцять, тридцять років. У ході проведення розрахунків застосовано методіку В.М. Гольдберга [3]. Розрахунок радіусу розтікання розсолу у водоносному горизонті та оцінка гідродинамічної активності закачуваних розсолів виконані на базі поглинальної свердловини, через яку здійснюватиметься нагнітання високомінералізованого розсолу. Проведено розрахунок швидкості просування розсолу пластом-колектором з віддаленням від стовбура поглинальної свердловини (таблиця 1).

Отримані дані свідчать, що швидкість просування розсолу поглинальним пластом з часом і віддаленням від вибою свердловини різко гальмуються, а радіус розтікання високомінералізованого розсолу по пласту залежать як від ємнісних властивостей пласта, так і від загального об'єму закачаних у свердловину розсолів. Для даної задачі розроблено комплексну програму, яка реалізована



**Рис. 2** Графік зміни загальної мінералізації М, вмісту  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  у відповідному співвідношенні суміші високомінералізованого розсолу та прісної води

*Таблиця 1*

**Результати розрахунків радіуса розтікання високомінералізованого розсолу у проектному водоносному горизонті та швидкості його руху пластом**

Період закачування, роки	Сумарна кількість захоронених розсолів, м <sup>3</sup>	Радіус розтікання розсолу у водоносному горизонті, м	Швидкість руху розсолу пластом, м/добу
1	438000	129,49	0,317
5	2190000	289,56	0,262
10	4380000	409,50	0,142
20	8760000	519,12	0,092
30	13140000	709,27	0,086

в інтегрованому середовищі Delhi. У цій програмі передбачено візуалізацію динаміки поширення фронту забруднень, чисельні розрахунки та графічне представлення поля швидкості фільтрації та поля концентрації мігруючих речовин. Завдяки програмній реалізації задачі проведено значну кількість експериментів, що дало можливість зробити аналіз отриманих результатів для різних вхідних даних задачі та детально дослідити процес масопереносу розчинених у воді солей.

Розроблено основні заходи з охорони навколишнього середовища в процесі підземного захоронення високомінералізованих розсолів у виснажені розробкою газові поклади Гринівського родовища [7].

Безумовно контроль за просуванням розсолів у поглинальному горизонті та санітарним станом водоносних горизонтів є однією із надзвичайно важливих проблем, які виникають у процесі підземного захоронення промислових відходів. З метою охорони довкілля навколо запроєктованого полігону захоронення нами запропоновано, розраховано та обґрунтовано встановлення санітарно-захисних зон [7].

Окрім цього необхідно враховувати, що в процесі захоронення високомінералізованих розсолів у межах виділених та обґрунтованих поясів санітарно-захисної зони необхідно передбачення проведення гідрогеологічного, гідрохімічного та технічного контролю. Так, гідрогеологічний контроль необхідно проводити з метою реєстрації та регулювання кількості закачаних у пласт розсолів, визначення стану процесу закачування та своєчасного відключення поглинальної свердловини для проведення

профілактичного ремонту і відновлення її прийнятності. Він включає щоденний облік кількості закачаних розсолів, замірювання значень тисків на усті поглинальної свердловини і на насосах. Відповідно, гідрохімічний контроль здійснюватиметься за станом горизонтів прісних підземних вод, які використовуються для народногосподарських і питних потреб, у районі забудов для захоронення розсолів. Крім цього, контролюватиметься характер взаємодії розсолу з пластовим середовищем.

Також передбачається технічний контроль за станом споруд (насосами, трубопроводами тощо) з метою забезпечення і прийняття необхідних заходів із запобігання можливих витоків закачаних розсолів. Цей контроль повинен проводитися оператором систематично.

З метою забезпечення надійності контролю у процесі захоронення високомінералізованого розсолу в надрах Гринівського газового родовища передбачається буріння спостережних свердловин.

Поширення високомінералізованих розсолів у водоносному горизонті пропонується контролювати комплексом наступних методів: відбором глибинних проб води з наступним проведенням хімічних аналізів, спостереженням за зміною гідродинамічних умов поглинального і суміжних з ним водоносними горизонтами та геофізичними дослідженнями.

**Висновки.** На основі глибокого аналізу геологічної будови, власних експериментальних даних та літературних джерел доведено можливість вирішення проблеми поводження з висококонцентрованими розсолами на основі хлоридів натрію і калію шляхом захоронення їх у водонасичені пласти вичерпаних виробіток поблизу розташованих газових родовищ.

Отже, в роботі зроблено рішучий крок щодо вирішення однієї з нагальних проблем безпеки м. Калуша – забруднення навколишнього середовища регіону та Дністровського басейну унаслідок некерованого накопичення високомінералізованих розсолів у Домбровському кар'єрі та хвостосховищах.

#### Література

1. Адаменко О.М. Екологічна геологія : підруч. [для студ. вищ. навч. закл. екологічних, геологічних, географічних спеціальностей] / Олег Адаменко, Григорій Рудько. – К. : Манускрипт, 1997. – 348 с.
2. Гаркушин П.К. Технология закладочных работ на калийных рудниках Прикарпатья / П.К. Гаркушин., Я.М. Семчук // Подземное и шахтное строительство. – 1991. – №2. – С. 13-17.
3. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения : монографія / В.М. Гольдберг, С.В. Газда – М. : Недра, 1984. – 283 с.
4. Коринь С.С. Минеральный состав и свойства соляных пород Предкарпатья – индикаторы тектонических деформаций / С.С. Коринь // Советская геология. – 1988. – №24. – С. 95-97.
5. Манюк О.Р. Захист від забруднення довкілля високомінералізованими розсолами шляхом їх підземного захоронення / О.Р. Манюк // Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці: матеріали наук.-техн. конф. з міжнар. участю “ІФНТУНГ-40” (м. Івано-Франківськ, 16–20 квітня 2007 р.) : тези доповідей. – Ів.-Франківськ, 2007. – С. 56.
6. Манюк О.Р. Підземне захоронення високомінералізованих розсолів Калуш-Голинського родовища калійних солей у виснажені розробкою поклади вуглеводнів як ефективний захід захисту довкілля / О.Р. Манюк, О.Д. Мельник, Я.М. Семчук // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – №1. – С. 49-57.
7. Манюк О.Р. Підземне захоронення високомінералізованих розсолів та основні заходи захисту від забруднень навколишнього середовища / О.Р. Манюк, Я.М. Семчук // Екологічна безпека. – 2008. – №1. – С. 37-42
8. Роткин С.М. О возможности подземного захоронения промстоков основных предприятий калийной промышленности // Использование и складирование отходов обогатительных фабрик. Подземное и шахтное строительство : статьи / С.М. Роткин, И.И. Ризнич. – Л., ВНИИГ, 1974. – С. 104 – 118.
9. Тарасов Б.Г. Комплексное освоение калийных месторождений Предкарпатья / Б.Г. Тарасов, П.К. Гаркушин, В.М. Глоба. – Львов : Высшая школа, 1987. – 128 с.
10. Указ президента України №145/2010 „Про оголошення міста Калуша та сіл Кропивник та Сівка-Калуська зоною надзвичайної екологічної ситуації” від 12.02.2010 року.