

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН В ЯКОСТІ  
ЗАХИСНИХ БАР'ЄРІВ У СХОВИЩАХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН В КАЧЕСТВЕ  
ЗАЩИТНЫХ БАРЬЕРОВ В ХРАНИЛИЩАХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF BENTONITE CLAYS AS PROTECTIVE  
BARRIERS IN RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES**

**Науковий керівник – кафедра АЕС; професор, доктор технічних наук - Барбашев С.В.,**

**Барбашев С.В., S.V. Barbashev,**

**Магістр – Перелазний О.Ю., Перелазный А.Ю., O.Y. Perelazniy**

**АНОТАЦІЯ**

Розглянуто питання ефективності використання бентонітових глин для сховищ радіоактивних відходів.

Проаналізовано властивості бентонітових та звичайних глин.

Розглянуто особливості будови сховищ з використанням двох видів глини.

Виконаний розрахунок ефективності використання бентонітових глин для сховищ радіоактивних відходів при міграції радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  при пошкодженні контейнеру, в якому зберігаються РАВ, з приповерхневого сховища в навколишнє природне середовище.

Зроблено висновок про те, що використання бентоніту в якості захисного екрану, який ізолює радіоактивні відходи від навколишнього середовища, є більш ефективним ніж застосування звичайних глин.

**Ключові слова:** радіоактивні відходи, захоронення РАВ, бентонітові глини, ефективність використання, будова сховища.

**АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены вопросы эффективности использования бентонитовых глин для хранилищ радиоактивных отходов.

Проанализированы свойства бентонитовых и обычных глин.

Рассмотрены особенности строения хранилищ с использованием двух видов глины.

Выполнен расчет эффективности использования бентонитовых глин для хранилищ радиоактивных отходов при миграции радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  при повреждении контейнера, в котором хранятся РАО, с приповерхностного хранилища в окружающую среду.

Сделан вывод о том, что использование бентонита в качестве защитного экрана, который изолирует радиоактивные отходы от окружающей среды, является более эффективным чем применение обычных глин.

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, захоронения РАО, бентонитовые глины, эффективность использования, строение хранилища.

### ABSTRACT

The efficiency of the use of bentonite clays for the storage of radioactive waste is considered.

Properties of bentonite and conventional clays are analyzed.

The features of storage structure using two types of clay are considered.

Calculation of the efficiency of the use of bentonite clays for the storage of radioactive waste during the migration of  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides in case of damage of the container in which the radioactive waste is stored from the surface storage to the environment.

It is concluded that the use of bentonite as a protective screen, which isolates radioactive waste from the environment, is more effective than the use of conventional clays.

**Keywords:** radioactive waste, radioactive waste disposal, bentonite clays, efficiency of use, storage structure.

За обсягом радіоактивних відходів Україна посідає друге місце в Європі та четверте у світ, тому проблема поводження з радіоактивними відходами на території України стоїть дуже гостро ось вже більше тридцяти років.

З усіх радіоактивних відходів (РАВ), які були напрацьовані на відповідних підприємствах країни, у т.ч. після аварії на ЧАЕС, більш ніж 94,5% приходить на низькоактивні відходи (НАВ) та середньоактивні відходи (САВ). І тому питання їх захоронення є дуже актуальними. При їх вирішенні пропонується, наприклад, застосовувати приповерхневі сховища [1]. Вони дешевші в будівництві, більш доступніші. Але за рахунок того, що вони знаходяться близько від людини, цей спосіб є вразливим для навколишнього природного середовища (НПС) та людини. Є способи, які зменшують дію цих сховищ на НПС. Серед них - застосування бентонітової глини.

Мета роботи – оцінити ефективність застосування бентонітових глин в якості захисних бар'єрів у приповерхневих сховищах РАВ.

### **ОГЛЯД ВЛАСТИВОСТЕЙ «ЗВИЧАЙНИХ» ТА БЕНТОНІТОВИХ ГЛИН**

Бентонітовими глинами називають глини, які складаються на 60–70% чи більше з матеріалів групи смектитів (монтморилоніт, нонтроні, бейделіт та інші). Загальна формула бентонітових глин має вид:



Монтморилоніт найчастіше являється головною складовою компонентів в бентонітових глинах. Саме він відіграє вирішальну роль та визначає особливості бентонітових глин (будову, фізико-хімічну характеристику). За рахунок цього можна відрізнити звичайну глину та бентоніт. Останній має дуже високі пластичні властивості, добре набухає, має низьку водопроникність, високу іонообмінну ємність та сорбційну властивість по відношенню до радіонуклідів, високу стійкість та не змінює властивості на протязі великого відрізка часу[2].

Звичайна глина в сухому стані добре поглинає воду, але намокнув, стає водонепроникною. Після перемішування вона набуває властивість приймати різні форми і зберігати їх після висихання. До того ж глина має звязуючу властивість: з порошкоподібними твердими тілами (пісок) дає однорідну масу, також володіє пластичністю, але вже в меншому ступені. Очевидно, що чим більше в глині домішки піску або води, тим нижче пластичність суміші. При високій температурі глина плавиться та змінює структуру. Температура плавління (початку плавлення) характеризує вогнетримкість глини, яка неоднакова для різних її сортів [3].

Порівняння властивостей глин представлено в табл.1. Дані таблиці свідчать про те, що застосування бентоніту для ізоляції РАВ буде більш ефективним, чим при застосуванні звичайної глини. По-перше, у них більша питома поверхня та теплопровідність, кращі сорбційні властивості в порівнянні із звичайними глинами. По-друге, втрата властивостей бентоніту можлива аж через 300-500 років, що в декілька раз більше в порівнянні із звичайними глинами, що деградують на протязі 100-200 років.

Таблиця 1 – Порівняння властивостей глин які використовуються в сховищах РАВ

Властивості	Одиниці вимірювання	Звичайні глини	Бентонітові глини
Питома поверхня	г/м <sup>2</sup>	50-80	600-800
Сорбційні властивості	мг/г	210±20	310±20
Теплопровідність	Вт/м	0,6-0,7	0,8-1,04
Розмір часток	мкм	0,2-1,0	0,05-0,3
Висока стійкість, не змінює властивості протягом тривалого часу	роки	100-200	300-500

### СХЕМИ ПРИПОВЕРХНЕВОГО СХОВИЩА ІЗ ЗВИЧАЙНИМИ ГЛИНАМИ ТА З ВИКОРИСТАННЯМ БЕНТОНІТУ

**Розглянемо будову приповерхневого сховища «Буряківка», яке в теперішній час експлуатується на території зони спостереження ЧАЕС.**

При ліквідації аварії на ЧАЕС з самого початку з'явилася проблема ліквідації великої кількості середньо та низькоактивних радіоактивних відходів. Також не було зрозуміло, про які конкретні об'єми йдеться. Тому було розроблена універсальна модель сховища, яку можна було швидко будувати і на це не потрібно було б великих затрат.

Будову приповерхневого сховища РАВ «Буряківка» наведено на рис.1. Головне завдання сховища полягає у захороненні твердих низькоактивних та середньоактивних РАВ, які були накопичені на протязі всього часу з дня аварії на ЧАЕС [4].

Сховище було спроектовано у вигляді кургану. Так було простіше його побудувати, заповнювати та проводити моніторинг після заповнення та ізоляції від НПС. Як видно з рисунку, більша частина сховища знаходиться над поверхнею землі. У зв'язку з цим можливе попадання опадів в середину сховища. Тому, для попередження проникнення вологи, верхній шар покривався **звичайною глиною**, яка має добрі сорбційні властивості та стійкість до вологи. Потім додавався шар піску для утримання існуючої форми об'єкта. А вже в середині знаходились контейнери з РАВ.

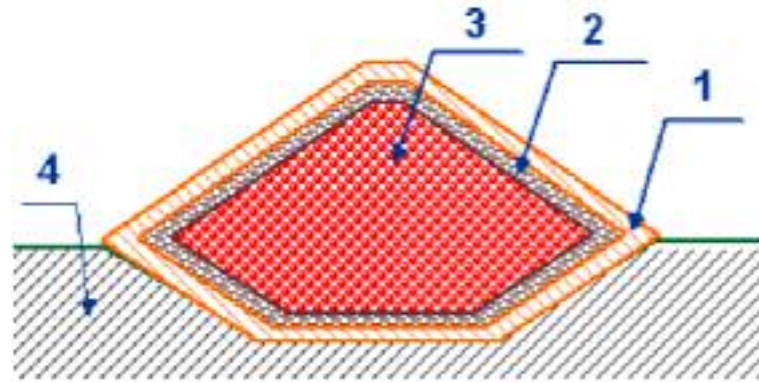


Рисунок 1 – Схема приповерхневого сховища «Буряківка»:

- 1 – шар глини (екран), товщиною 0,5 метра, нижня частина екрану траншеї становить 1 м;  
2 – шар піску (або іншого ґрунту), який охороняє глиняний екран від руйнування під час заповнення траншеї;  
3 – радіоактивні відходи;  
4 – поверхня майданчика ПЗРВ.

**Розглянемо будову приповерхневого сховища РАВ з використанням бентонітової глини.** На рис. 2 наведена схема сховища з **бентонітом**, яке призначене для захоронення низькоактивних РАВ.

За рахунок того, що сховище буде мати невеликі розміри, можна буде більш детально дослідити на практиці ефективність впровадження інженерних бар'єрів, таких як **бентоніт**, та дізнатись, які ще чинники впливають на надійність сховища, щоб врахувати це в наступних чергах будівництва.

Сховище будується також курганного типу, знаходиться на поверхні землі. Це забезпечує більшу безпеку за рахунок того, що до ґрунтових вод, які є головним транспортером радіонуклідів під землею, далеко. Між сховищем та поверхнею землі застиляють **бентоніт**, який дуже ущільнюють. Потім засипають пісок, а зверху заливають спеціальним бетоном для того, щоб мінімізувати можливість проходження радіонуклідів через стінки сховища. Відходи розміщують у спеціальних контейнерах (каністрах), які спеціально виготовляються для РАВ. Верх сховища покривається бетоном та декількома шарами глини та ґрунту.

Приповерхневе сховище із звичайної глини вже працює на території ЧАЕС. Але, для забезпечення більшої безпеки для навколишнього середовища та мінімізації міграції радіонуклідів до навколишнього середовища з сховища, будується сховище з використанням бентоніту,

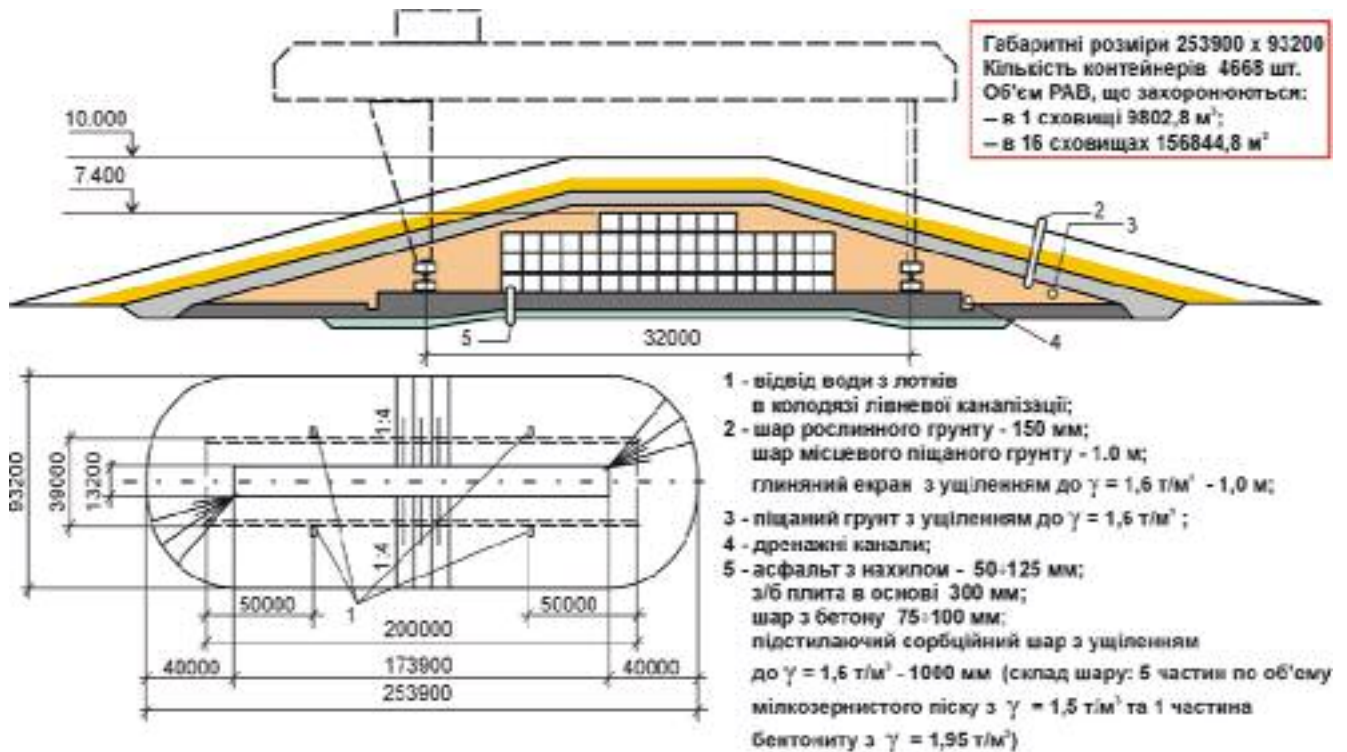


Рисунок 2– Будова приповерхневого сховища РАВ з бентонітом [5]

**Розрахунок ефективності використання бентонітових глин для приповерхневих сховищ.** Для підтвердження ефективності використання бентонітових глин розглянемо процес міграції <sup>90</sup>Sr з сховища до навколишнього середовища. Прогноз міграції цього радіонукліда через інженерні бар'єри оцінемо шляхом моделювання зміни концентрації радіонуклідів, мігруючих із зони захоронення, методом просторово-часових полів. Моделюється така ситуація, коли контейнер, в якому зберігаються РАВ, повністю розгерметизується та речовина попаде на нижній бар'єр, який складається з бентоніту.

Через те, що вода є головним носієм радіонуклідів при їх виході з бар'єра в навколишнє середовище, оцінювалась концентрація радіонуклідів в підземних водах.

Міграція радіонуклідів із сховища РАВ через інженерні бар'єри йде шляхом дифузійного переносу. В сховищах в якості бар'єрів розглядаються нижні сорбційні шари 1 м.

Процес переносу радіонуклідів дифузійним шляхом через багатошарову товщу описується рівнянням (1) з початковими та граничними умовами (2):

$$D \frac{d^2 c}{dx^2} - V_1 \frac{dc}{dx} - \alpha c = \frac{dc}{dt}, \quad (1)$$

де

$$\begin{cases} c(0, t) = c_0 e^{-\alpha t} \\ c(x, 0) = 0 \\ c(\infty, t) = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

Для числової моделі при вирішенні задачі застосуємо метод кінцевих різниць з використанням різницевої схеми по відрізьку часу. Розрахунок було виконано за допомогою програми Microsoft Excel.

Початкові концентрації радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  у РАВ визначаємо по формулі (3):

$$c_0 = \frac{A_0}{n} \gamma (1 - \exp(-k_b t_0) \exp(-\alpha t)) \quad (3)$$

Де  $x$  – товщина екрануючого шару, м;

$c_0$  – концентрація радіонуклідів у вологих РАВ, Бк $^{-1}$ ;

$A_0$  – початкова питома активність радіонуклідів в РАВ, кБк/т;

$D$  – ефективний коефіцієнт дифузії радіонукліда при вертикальному переносі радіонукліда в матеріалі екрана, м $^2$ /рік;

$\alpha$  – постійна розпаду радіонукліда;

$n$  – об'ємна вологість РАВ;

$\gamma$  – густина РАВ, т/м $^3$ ;

$k_b$  – постійна вилуговування РН з РАВ, рік.

Ефективний коефіцієнт дифузії ( $D$ ) радіонукліда  $^{90}\text{Sr}$  через нижній сорбційний шар отриманий експериментально. Розрахунок з використанням програми показав, що розрахунковий строк зберігання РАВ буде дорівнювати 300 років. До цього часу може статися неконтрольований вихід РАВ. В першу чергу відбудеться забруднення підземних вод. Результати розрахунку представлені в табл. 2 та на рис. 3.

Таблиця 2 – Результати розрахунків

Параметри	Одиниці вимірювання	Радіонуклід
Допустимий вміст РН в питній воді	Бк/л	10
Максимальне розповсюдження РН в сорбційному шарі та зоні аерації під сховищем РАВ по граничній концентрації	м/рік	1,65

Максимальне розповсюдження РН під сховищем РАВ по граничній концентрації, через 300 років	м	1,5
---	---	-----

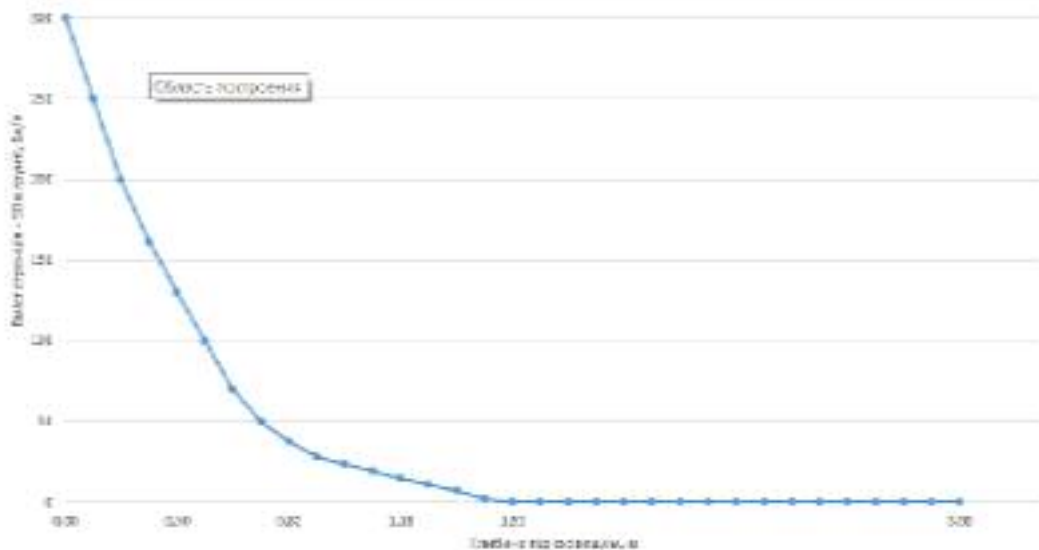


Рисунок 3 – Розповсюдження радіонукліда <sup>90</sup>Sr з сховища РАВ протягом 300 років.

**Висновки:**

1. На АЕС виробляється велика кількість середньо- та низькоактивних радіоактивних відходів. Найбільш ефективним матеріалом для бар'єрів безпеки в сховищах цих РАВ є бентонітові глини. Це пов'язано з тим, що вони мають високу сорбційну здатність, теплопровідність, стійкість, що не змінюється на протязі 300-500 років.
2. Порівняння будови сховищ з використанням бентонітової та звичайної глини свідчить, що ефективність сховища з використанням бентоніту буде більшою. Розрахунок ефективності показав, що строк служби сховища з використанням бентоніту - 300-500 років, в той же час, як у сховища зі звичайною глиною, всього 100-200 років
3. Максимальне проникнення радіонуклідів <sup>90</sup>Sr із сховищ в ґрунт становитиме всього 1,5 м через 300 років після початку зберігання. Тому конструкція сховища, яка матиме сорбційний шар з бентоніту, може забезпечити безпечне зберігання РАВ, як в звичайних умовах, так и при пошкодженні контейнеру в якому зберігаються РАВ.



### **Література**

1. Наукові основи прогнозування загроз забруднення довкілля при поверхневому захороненні радіоактивних відходів України. Ольховик Ю.О. - Київ. - 2018. - 333 с.
2. Бентонітові глини заурала: екологія та здоров'я людини. - 2010. – Курган. - 149с.
3. Мінеральні ресурси України: Глини. Гелета О.Л., Кічняєв А.М., Ляшок В.І. - 2011. - 31 с. (Дата звернення 22.11.2019).
4. Державна інспекція ядерного регулювання України. Зона відчуження. URL:<http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/329651> (Дата звернення 12.11.2019).
5. Захороення РАВ та напрямки розвитку сховища «Вектор». Державне агентство України з управління зоною відчуження. URL: [dazv.gov.ua > images > pdf >Rejhtman.pptx](http://dazv.gov.ua/images/pdf/Rejhtman.pptx) (Дата звернення 22.11.2019).