

№ 1 / 2019

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ



КИЇВ





**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  
ТА  
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ  
ДОВКІЛЛЯ  
№1, 2019  
НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**Заснований у 2019 році**

**Виходить 2 рази на рік**

**Редакційна колегія:**

**Головний редактор**

**Бондар Олександр Іванович** Член-кореспондент НААНУ,  
доктор біологічних наук

**Заступник головного редактора**

**Іваницько Тарас Григорович** Кандидат технічних наук

**Науковий редактор**

**Антонов Анатолій Васильович** Доктор технічних наук

**Редакційна мова:**

<b>Бакарев В.С.</b>	Доктор технічних наук
<b>Білявський Г.О.</b>	Доктор еколого-лінійно-географічних наук
<b>Ванал С.В.</b>	Доктор технічних наук
<b>Вашченко В.М.</b>	Доктор фізико-математичних наук
<b>Вішнівський В.І.</b>	Доктор технічних наук
<b>Волний В.Ф.</b>	Кандидат технічних наук
<b>Гриб О.М.</b>	Кандидат географічних наук
<b>Денисенко І.Ю.</b>	Кандидат технічних наук
<b>Дмитриков В.П.</b>	Доктор технічних наук
<b>Душаківський В.О.</b>	Кандидат технічних наук
<b>Єрмаков В.М.</b>	Доктор технічних наук
<b>Каватерник С.М.</b>	Кандидат технічних наук
<b>Коваленко Г.Д.</b>	Доктор фізико-математичних наук
<b>Катірма В.</b>	Доктор економічних наук (Республіка Польща)
<b>Лизова О.В.</b>	Кандидат технічних наук
<b>Муркін А.Г.</b>	Доктор технічних наук
<b>Нагорнов О.М.</b>	Кандидат сільськогосподарських наук
<b>Овсьяк Ю.О.</b>	Доктор технічних наук
<b>Павлюченко А.В.</b>	Доктор технічних наук
<b>Петрук В.Г.</b>	Доктор технічних наук
<b>Сорока Ю.М.</b>	Кандидат технічних наук
<b>Ушачев О.А.</b>	Доктор економічних наук
<b>Фролов В.Ф.</b>	Доктор технічних наук
<b>Шматков Г.Г.</b>	Доктор біологічних наук

**Технічний редактор**

**Гришук Олена Борисівна** науковий співробітник

**Літературний редактор (англійська мова)**

**Іваницько Катерина Тарасівна**

**Засновник:**

*Науковий парк Державної екологічної академії  
післядипломної освіти та управління  
«ЧОРНОБИЛЬ» Міністерства енергетики та  
захисту довкілля України*

*Свідчення про державну реєстрацію друкованого  
засобу масової інформації  
КВ № 23757-13597Р від 20.02.2019*

**Метою видання наукового журналу** є висвітлення  
питань екологічної безпеки, технологій захисту  
довкілля, екологічного менеджменту та аудиту,  
біобезпеки та сторони навколишнього природного  
середовища.

*У разі передрукування матеріалів письмовий  
дозвіл автора та редакції є обов'язковим*

*Рекомендовано до друку  
науково-технічною радою Наукового  
парку «ЧОРНОБИЛЬ»  
Протокол № 2/19 від 01.08.2019 р.*

*Підписано до друку 27.09.2019*

**Адреса редакції:**

03035, м. Київ, вул. Василя Липківського, 35, корпус 2

Телефон: (044) 206-31-83

[www.nr.chornobyl.com.ua](http://www.nr.chornobyl.com.ua)

[nr\\_chornobyl@ukr.net](mailto:nr_chornobyl@ukr.net)

Друк - ФОП Квемченко  
Україна, 02125, м. Київ,  
вул. П. Запорозьця, 4, кв. 24  
тел.: (066) 260-76-86

Формат 60x84/8.  
Наклад 120 прим.

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв,  
назв підприємств, організацій, установ та інших інформації нести автори статей.  
Висловлені в статтях думки належать їх авторам і не несуть відповідальності редакції.  
Відповідальність за добру і якісну роботу нести автори.

**© Екологічна безпека та  
технології захисту довкілля, 2019**

# ЗМІСТ

<b>Коваленко Г.Д., Вітько В.І., Хабарова Г.В.</b>	ТРАНСКОРДОННИЙ ВПЛИВ ВИКИДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ДОВКІЛЛЯ ТА НАСЕЛЕННЯ	6
<b>Шматков Г.Г.</b>	ДЕЯКІ МІРКУВАННЯ СТОСОВНО ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА МОРАЛІ В СИСТЕМІ «ЛЮДИНА – ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ – СОЦІУМ» (як дискусія)	14
<b>Гринько О. М., Іващенко Т. Г., Денисенко І. Ю.</b>	ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ДЕЗАКТИВАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОАКТИВНИМИ ВІДКЛАДЕННЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКЗОТЕРМІЧНОЇ СУМІШІ	21
<b>Дудар Т.В., Коваленко Г.Д., Фролов В.Ф., Фаррахов О.В., Орленко Т.А.</b>	СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ УРАНОВОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПОТРЕБ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	26
<b>Тищенко Ю.С.</b>	МЕТОД ПРОСТОРОВОГО ВІДОБРАЖЕННЯ ПОЛІВ РОЗПОДІЛУ РАДІАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ПРИКЛАДІ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ НА ТЕРИТОРІЇ ВАТУТІНСЬКОГО РОДОВИЩА УРАНУ	36
<b>Ольховик Ю.О., Шабалін Б.Г.</b>	ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ГЛИНИСТИХ ПОРІД ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ НА КОМПЛЕКСІ «ВЕКТОР»	45
<b>Полякова І. О.</b>	ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ ЩО МІСТЯТЬ ТРИТІЙ	52
<b>Шабалін Б.Г.</b>	ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕНТОНІТОВОЇ СИРОВИНИ І МАТЕРІАЛІВ НА ЇЇ ОСНОВІ В АТОМНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ	60
<b>Іващенко Т. Г., Гладіш А.В.</b>	ПЕРСПЕКТИВИ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ ЯК МАТЕРІАЛУ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПЕРЕШКОД ТА КОМПОНЕНТА ВОГНЕЗАХИСНИХ РЕЧОВИН	70
<b>Мнухін А.Г., Гітуляр А.А., Печений В.Л.</b>	ОБЛАДНАННЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНО ПРИЙНЯТОГО СПОСОБУ РОЗБИРАННЯ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	77
<b>Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луцьова О.В., Буглак О.В., Бойко К.С.</b>	МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ДОБУВНОГО ВИРОБНИЦТВА СУБ'ЄКТАМИ ГОСПОДАРЮВАННЯ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН	82
<b>Антонов А.В.</b>	НАУКОВІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ПРИЙНЯТИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ТА ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	88



## ШАНОВНІ ДРУЗІ!

Вихід першого номера журналу «Екологічна безпека та технології захисту довкілля» знаменують прогрес в усвідомленні необхідності сучасних підходів до розв'язання найскладніших екологічних проблем в Україні, особливо в промисловорозвинених регіонах.

У структурі екологічних наук за останні 30-40 років відбувалися два важливих напрямки – екологія Людини та Прикладна екологія. Перший - розглядає Людину, як елемент екологічних систем і вивчає вплив на нього різних екологічних факторів та взаємодію Людини з компонентами навколишнього середовища. Другий – Прикладна екологія (промислова, будівельна, транспортна, аграрна, комунальна, тощо) – вивчає вплив об'єктів різних галузей господарського

комплексу Людини на навколишнє середовище. Зазвичай, Прикладна екологія розглядає фактори впливу цих галузей на використання ресурсів, обсяги викидів і скидів забруднюючих речовин, розміщення відходів та їх вплив на окремі компоненти довкілля.

Проте, ні за одним з цих напрямків не розглядається Екологічна Безпека, як самостійний і найважливіший аспект всього широкого спектру взаємодії Людини, його соціальної та особистої життєдіяльності з усіма об'єктами і факторами впливу на довкілля. Адже саме відсутність розв'язання проблеми і спричинила появу численних регіональних та глобальних негативних змін у біосфері Землі.

Розроблення, виробництво і широке застосування нових матеріалів, техніки, механізмів, технологій, майже ніколи не супроводжувалися прогнозуванням можливих віддалених негативних екологічних наслідків. Досить згадати поширене використання пестицидів і отрутохімікатів у сільському господарстві, ртутних люмінесцентних ламп, застосування тетраетилсвинцю, як антидетонуючої добавки до бензину, використання фреонів у холодильних установках та інших озоноруйнівних речовин у різних секторах споживання, використання пластику і малогабаритних джерел електроживлення у всіх сферах виробництва та побуту, відходи яких не видаляються в природному середовищі сотні років та забруднюють токсичними речовинами ґрунт, воду й повітря.

Забруднення атмосферного повітря у промислових містах - це також наочне свідчення неналежної уваги до екологічної безпеки під час проектування, експлуатації промислових підприємств, відсутність розуміння наслідків для довкілля та здоров'я Людини.

Саме тому, завдання нового наукового журналу «Екологічна безпека та технології захисту довкілля» стане надійним помічником у роботі фахівцям екологічної галузі, управлінцям, науковим працівникам, викладачам навчальних закладів, студентам, аспірантам.

Вітаю засновників журналу «Екологічна безпека та технології захисту довкілля» з виходом першого номера. Бажаю редакційній колегії, авторам успішної роботи, нових творчих звершень в науковій та практичній діяльності!

**Головний редактор**  
**Бондар Олександр Іванович**  
 Член-кореспондент НААНУ,  
 доктор біологічних наук, професор  
 Ректор Державної академії  
 післядипломної освіти та управління

# ТРАНСКОРДОННИЙ ВПЛИВ ВИКИДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ДОВКІЛЛЯ ТА НАСЕЛЕННЯ

Коваленко Г.Д.<sup>1,2</sup>, Вітько В.І.<sup>2</sup>, Хабарова Г.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут фізики високих енергій і ядерної фізики,  
вул. Академічна 1, 61108, м. Харків  
[grygoryk0@gmail.com](mailto:grygoryk0@gmail.com)

<sup>2</sup> Науково-дослідна установа  
«Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»  
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків  
[valerivitko@gmail.com](mailto:valerivitko@gmail.com)  
[anetp@ukr.net](mailto:anetp@ukr.net)

Досліджено викиди летючої золи  $PM_{10}$  та газів ТЕС Польщі, Угорщини та Румунії потужністю понад 300 МВ, які працюють на вугіллі. Визначено потоки летючої золи  $PM_{10}$  та газів на територію України та розраховані їх концентрації. Надана порівняльна оцінка взаємних потоків  $PM_{10}$  та газів на кордоні України з суміжними державами.

Визначено транскордонний вплив теплоелектростанції (ТЕС) на забруднення атмосферного повітря на території України та оцінено екологічні ризики для населення на кордоні. **Ключові слова:** викиди теплових електростанцій, забруднення атмосферного повітря, летюча зола<sup>1</sup>, газоподібні речовини, транскордонний вплив, екологічна безпека.

**The cross-border impact of thermal power plants emissions on the environment and population. Kovalenko G., Vitko V., Khabarova H.** The article presents research on the emissions of fly ash  $PM_{10}$  and gases from thermal power stations in Poland, Hungary and Romania with a capacity of more than 300 MW, working on coal. The flows of fly ash  $PM_{10}$  and gases on Ukrainian territory are determined and their concentrations are calculated. The comparative estimation of mutual flows of  $PM_{10}$  and gases at the Ukrainian border with the neighbouring countries is given. The cross-border impact of thermal power plants on atmospheric air pollution in Ukraine is determined and the environmental risks for the population at the border are estimated. **Key words:** thermal power plants emissions, atmospheric air pollution, fly ash, gaseous substances, cross-border impact, environmental safety.

Згідно з вимогами «Протоколу про стратегічну екологічну оцінку» [1], важливою є оцінка транскордонного впливу на навколишнє природне середовище та населення викидів ТЕС потужність яких понад 300 МВт суміжних держав, що працюють на вугіллі.

Спалювання вугілля на ТЕС призводить до забруднення атмосферного повітря газоподібними речовинами та пилом, як на території суміжних країн, так і на території України. При оцінці транскордонного забруднення атмосферного повітря летючої золою та її внеску у формування екологічного ризику відповідно до вимог Директиви 2008/50/ЄС [2], Директиви 2004/107/ЄС [3] та Директиви 2010/75/ЄС [4] необхідно враховувати її фракційний склад.

**Характеристика викидів забруднюючих речовин ТЕС в атмосферне повітря.** Поблизу кордону з Україною розташовані найбільші закордонні ТЕС потужністю понад 300 МВт. Серед яких електричну потужність понад 1000 МВт мають ТЕС Польщі: Belchatow, Kozienice, Rybnik, Polaniec та інші [5, 6].

Близько 50% теплових станцій Румунії працюють на комбінованому виробництві тепла та електроенергії. Значна частина станцій в країні працює на низькій потужності [7].

У таблиці 1 наведено викиди летючої золи  $PM_{10}$  та газоподібних сполук  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  19-ти ТЕС Польщі, 1-єї ТЕС Угорщини та 5-ти ТЕС Румунії, що працюють на вугіллі потужністю понад 300 МВт (ел). До складу твердих часток ( $PM_{10}$ ) летючої золи входять: сполуки ванадію, ртуті, свинцю, хрому, нікелю, миш'яку, міді,

<sup>1</sup> Летюча зола у данній статті має однакове значення як і «Летка зола»

цинку, а також радіонукліди та бенз(а)пірену. Всі ці компоненти відносяться до переліку найбільш поширених та небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких підлягають регулюванню [8].

Таблиця 1

**Викиди закордонних ТЕС [5]**

Країна	ТЕС	Викиди, т/рік			
		PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Польща	Belchatow	1,19·10 <sup>3</sup>	3,71·10 <sup>7</sup>	3,41·10 <sup>4</sup>	7,48·10 <sup>4</sup>
Польща	Kozienice	9,27·10 <sup>2</sup>	1,13·10 <sup>7</sup>	1,61·10 <sup>4</sup>	3,09·10 <sup>4</sup>
Польща	Rybnik	7,09·10 <sup>2</sup>	6,55·10 <sup>6</sup>	9,9·10 <sup>3</sup>	1,64·10 <sup>4</sup>
Польща	Polaniec	4,66·10 <sup>2</sup>	6,30·10 <sup>6</sup>	1,47·10 <sup>4</sup>	1,70·10 <sup>4</sup>
Польща	Opole	2,03·10 <sup>2</sup>	5,82·10 <sup>6</sup>	5,78·10 <sup>3</sup>	3,25·10 <sup>3</sup>
Польща	Turow	9,89·10 <sup>2</sup>	7,59·10 <sup>6</sup>	7,15·10 <sup>3</sup>	1,08·10 <sup>4</sup>
Польща	Dolna_Odra	8,0·10 <sup>1</sup>	4,69·10 <sup>6</sup>	4,33·10 <sup>3</sup>	1,97·10 <sup>3</sup>
Польща	Jaworzno_3	9,1·10 <sup>1</sup>	4,52·10 <sup>6</sup>	4,67·10 <sup>3</sup>	3,93·10 <sup>3</sup>
Польща	Patnow_I	3,38·10 <sup>2</sup>	5,37·10 <sup>6</sup>	6,72·10 <sup>3</sup>	5,20·10 <sup>3</sup>
Польща	Laziska	2,86·10 <sup>2</sup>	3,78·10 <sup>6</sup>	3,85·10 <sup>3</sup>	4,75·10 <sup>3</sup>
Польща	Lagisza	1,61·10 <sup>2</sup>	2,91·10 <sup>6</sup>	3,9·10 <sup>3</sup>	3,63·10 <sup>3</sup>
Польща	Ostroleka	1,42·10 <sup>2</sup>	2,02·10 <sup>6</sup>	4,2·10 <sup>3</sup>	5,63·10 <sup>3</sup>
Польща	Adamow	2,08·10 <sup>3</sup>	3,91·10 <sup>6</sup>	7,47·10 <sup>3</sup>	1,33·10 <sup>4</sup>
Польща	Siekierki	2,76·10 <sup>2</sup>	2,84·10 <sup>6</sup>	2,56·10 <sup>3</sup>	4,01·10 <sup>3</sup>
Польща	Siersza	2,70·10 <sup>2</sup>	1,82·10 <sup>6</sup>	2,26·10 <sup>3</sup>	5,35·10 <sup>3</sup>
Польща	Patnow_II	7,4·10 <sup>1</sup>	2,35·10 <sup>6</sup>	1,65·10 <sup>3</sup>	1,15·10 <sup>3</sup>
Польща	Skawina	2,36·10 <sup>2</sup>	1,56·10 <sup>6</sup>	3,00·10 <sup>3</sup>	7,15·10 <sup>3</sup>
Польща	Zeran	3,06·10 <sup>2</sup>	2,32·10 <sup>6</sup>	3,10·10 <sup>3</sup>	6,89·10 <sup>3</sup>
Польща	Krakow	2,36·10 <sup>2</sup>	1,78·10 <sup>6</sup>	3,46·10 <sup>3</sup>	6,32·10 <sup>3</sup>
Угорщина	Matra	1,87·10 <sup>2</sup>	6,48·10 <sup>6</sup>	6,63·10 <sup>3</sup>	4,85·10 <sup>3</sup>
Румунія	Rovinari	3,20·10 <sup>2</sup>	5,46·10 <sup>6</sup>	9,07·10 <sup>3</sup>	4,09·10 <sup>3</sup>
Румунія	Turceni	2,10·10 <sup>2</sup>	4,16·10 <sup>6</sup>	9,75·10 <sup>3</sup>	6,73·10 <sup>3</sup>
Румунія	Mintia	2,07·10 <sup>3</sup>	9,28·10 <sup>5</sup>	3,90·10 <sup>3</sup>	9,97·10 <sup>3</sup>
Румунія	Isalnita	1,78·10 <sup>2</sup>	1,76·10 <sup>6</sup>	2,46·10 <sup>3</sup>	1,59·10 <sup>3</sup>
Румунія	Craiova_II	2,64·10 <sup>2</sup>	1,30·10 <sup>6</sup>	1,58·10 <sup>3</sup>	1,52·10 <sup>4</sup>

**Модель масопереносу викидів летючої золи з урахуванням дисперсного складу.** Поширення газоподібних викидів та твердих часток, їхньої середньорічної концентрації в атмосферному повітрі, розраховано за моделлю, в якій розсіювання часток в поперечній площині (уздовж координатних осей «Y» і «Z») описується розподілом Гауса з дисперсіями  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$  [9]. У цій моделі напрямком координатної осі «X» вибирається вздовж напрямку вітру, тобто вісь шлейфу викиду спрямована уздовж осі «X». Дисперсійні коефіцієнти  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$ , що описують розширення стру-

меню викиду уздовж поперечних осей «Y» і «Z» залежно від відстані «X». Числові параметри, що задають значення  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$ , отримано в ході спостережень в різних за категоріями стабільності атмосферних умов [9].

В даному підході враховано атмосферні умови за категоріями: за величиною стабільності А, В, С, D, E, F, G відповідно до Пасквіля [10]. Для кожної категорії визначені емпіричні коефіцієнти за якими визначаються дисперсії  $\sigma_y(x)$  і  $\sigma_z(x)$  уздовж координатних осей «Y» і «Z» відповідно [11].

При розрахунку концентрацій, використано розподіл швидкостей вітру за 16 румбами, які необхідно усереднювати в межах одного румба, через відсутність статистичних даних [11, 12].

Авторами розроблена програма [12, 13], що дозволяє розраховувати коефіцієнт осадження для будь-якої фракції. З урахуванням швидкості гравітаційного осадження знаходимо такі концентрації в атмосферному повітрі та розраховуємо потоки різних за розмірами часток летючої золи на значних відстанях від джерела викидів. Це дозволяє оцінювати масоперенос летючої

золи  $PM_{10}$  в сусідні країни і відповідно, оцінювати масоперенос в Україну [12, 13].

Як приклад, авторами розглянуто транскордонний вплив Kozienice ТЕС (Польща) на територію України. На рисунку 1 зображено сектори перенесення забруднюючих речовин від Kozienice ТЕС (Польща). У таблиці 2 наведено результати розрахунків потоків і концентрації летючої золи  $PM_{10}$  та газів на кордоні України від Kozienice ТЕС.

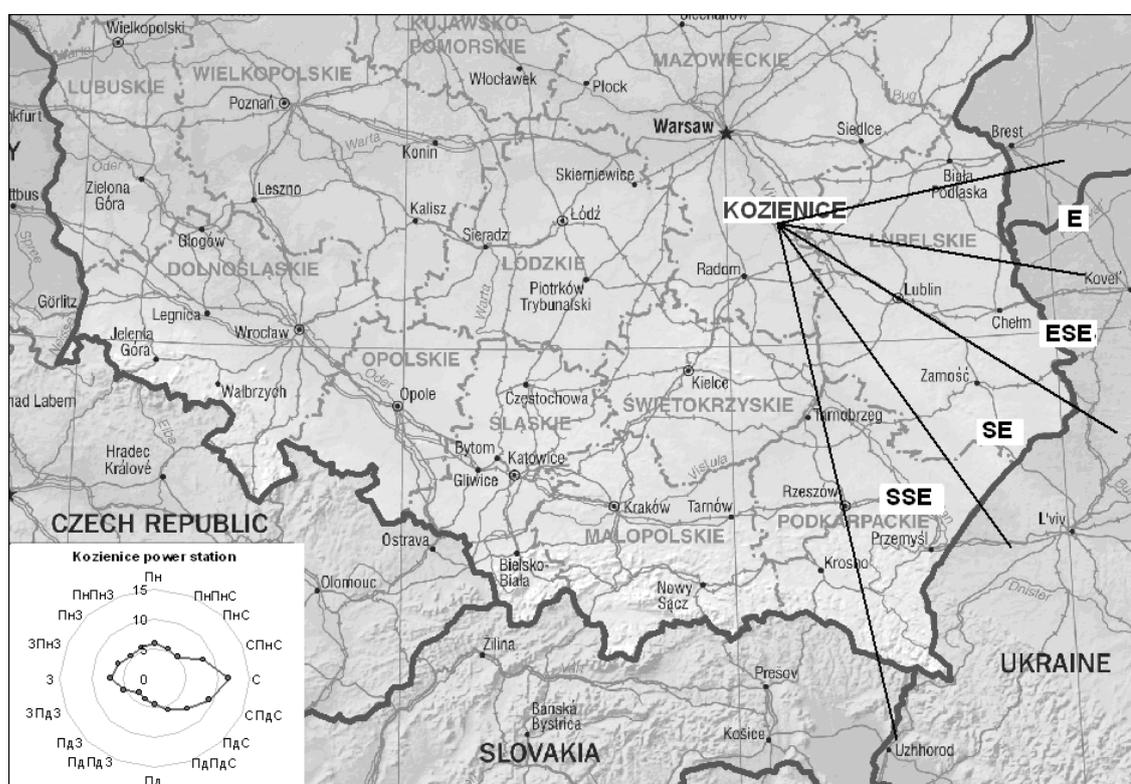


Рис. 1. Сектори перенесення забруднюючих речовин від ТЕС Kozienice

Таблиця 2  
Потоки летючої золи, газів та їх концентрацій від Kozienice ТЕС на кордоні з Україною для різних напрямів

Сектор, середня відстань, км	Потік, т/рік				Концентрація, мкг/м <sup>3</sup>			
	$PM_{10}$	$CO_2$	$NO_x$	$SO_2$	$PM_{10}$	$CO_2$	$NO_x$	$SO_2$
Е, 173 км	$7,89 \cdot 10^1$	$1,32 \cdot 10^6$	$1,87 \cdot 10^3$	$3,59 \cdot 10^3$	$7,13 \cdot 10^{-3}$	$8,78 \cdot 10^1$	$1,24 \cdot 10^{-1}$	$2,39 \cdot 10^{-1}$
ESE, 185 км	$6,29 \cdot 10^1$	$1,08 \cdot 10^6$	$1,52 \cdot 10^3$	$2,93 \cdot 10^3$	$5,26 \cdot 10^{-3}$	$6,48 \cdot 10^1$	$9,18 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-1}$
SE, 216 км	$4,59 \cdot 10^1$	$8,32 \cdot 10^5$	$1,18 \cdot 10^3$	$2,26 \cdot 10^3$	$3,22 \cdot 10^{-3}$	$3,97 \cdot 10^1$	$5,62 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^{-1}$
SSE, 271 км	$3,30 \cdot 10^1$	$6,64 \cdot 10^5$	$9,40 \cdot 10^2$	$1,80 \cdot 10^3$	$1,79 \cdot 10^{-3}$	$2,22 \cdot 10^1$	$3,14 \cdot 10^{-2}$	$6,03 \cdot 10^{-2}$

Транскордонне перенесення забруднюючих речовин через кордон України. У таблиці 3 наведені результати розрахунків потоку летючої золи  $PM_{10}$  та газів  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  на кордоні з Україною.

Таблиця 3

**Потоки забруднюючих речовин від викидів зарубіжних ТЕС**

ТЕС	Потік, т/рік			
	Летюча зола	Гази		
	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Belchatow	1,87·10 <sup>2</sup>	1,01·10 <sup>7</sup>	9,34·10 <sup>3</sup>	2,05·10 <sup>4</sup>
Kozienice	2,21·10 <sup>2</sup>	3,89·10 <sup>6</sup>	5,51·10 <sup>3</sup>	1,06·10 <sup>4</sup>
Rybnik	6,40·10 <sup>1</sup>	1,14·10 <sup>6</sup>	1,73·10 <sup>3</sup>	2,84·10 <sup>3</sup>
Polaniec	1,30·10 <sup>2</sup>	2,40·10 <sup>6</sup>	5,59·10 <sup>3</sup>	6,47·10 <sup>3</sup>
Opole	2,16·10 <sup>1</sup>	1,31·10 <sup>6</sup>	1,30·10 <sup>3</sup>	7,33·10 <sup>2</sup>
Turow	5,33·10 <sup>1</sup>	1,53·10 <sup>6</sup>	1,44·10 <sup>3</sup>	2,18·10 <sup>3</sup>
Dolna Odra	1,24·10 <sup>0</sup>	3,46·10 <sup>5</sup>	3,16·10 <sup>2</sup>	1,45·10 <sup>2</sup>
Jaworzno 3	1,54·10 <sup>1</sup>	1,36·10 <sup>6</sup>	1,40·10 <sup>3</sup>	1,18·10 <sup>3</sup>
Patnow I	2,13·10 <sup>1</sup>	7,56·10 <sup>5</sup>	9,46·10 <sup>2</sup>	7,32·10 <sup>2</sup>
Laziska	4,87·10 <sup>1</sup>	1,19·10 <sup>6</sup>	1,21·10 <sup>3</sup>	1,49·10 <sup>3</sup>
Lagisza	3,07·10 <sup>1</sup>	9,99·10 <sup>5</sup>	1,34·10 <sup>3</sup>	1,23·10 <sup>3</sup>
Ostroleka	1,17·10 <sup>1</sup>	3,10·10 <sup>5</sup>	6,48·10 <sup>2</sup>	8,65·10 <sup>2</sup>
Adamow	2,09·10 <sup>2</sup>	8,36·10 <sup>5</sup>	1,60·10 <sup>3</sup>	2,85·10 <sup>3</sup>
Siekierki	3,36·10 <sup>1</sup>	5,48·10 <sup>5</sup>	4,93·10 <sup>2</sup>	7,73·10 <sup>2</sup>
Siersza	4,09·10 <sup>1</sup>	4,72·10 <sup>5</sup>	5,88·10 <sup>2</sup>	1,39·10 <sup>3</sup>
Patnow II	4,64·10 <sup>0</sup>	3,31·10 <sup>5</sup>	2,33·10 <sup>2</sup>	1,62·10 <sup>2</sup>
Skawina	3,06·10 <sup>1</sup>	3,31·10 <sup>5</sup>	6,36·10 <sup>2</sup>	1,51·10 <sup>3</sup>
Zeran	3,91·10 <sup>1</sup>	4,75·10 <sup>5</sup>	6,34·10 <sup>2</sup>	1,41·10 <sup>3</sup>
Krakow	5,79·10 <sup>1</sup>	6,88·10 <sup>5</sup>	1,34·10 <sup>3</sup>	2,44·10 <sup>3</sup>
Matra	1,42·10 <sup>1</sup>	7,70·10 <sup>5</sup>	7,87·10 <sup>2</sup>	5,76·10 <sup>2</sup>
Rovinari	7,09·10 <sup>1</sup>	2,79·10 <sup>6</sup>	4,64·10 <sup>3</sup>	2,09·10 <sup>3</sup>
Turceni	4,64·10 <sup>1</sup>	2,13·10 <sup>6</sup>	4,98·10 <sup>3</sup>	3,44·10 <sup>3</sup>
Mintia	2,04·10 <sup>2</sup>	1,90·10 <sup>5</sup>	7,99·10 <sup>2</sup>	2,04·10 <sup>3</sup>
Isalnita	2,84·10 <sup>1</sup>	6,78·10 <sup>5</sup>	9,49·10 <sup>2</sup>	6,12·10 <sup>2</sup>
Craiova II	2,57·10 <sup>1</sup>	3,17·10 <sup>5</sup>	3,84·10 <sup>2</sup>	3,71·10 <sup>3</sup>

У таблиці 3 виділено п'ять ТЕС, величини потоків летючої золи PM<sub>10</sub> потрапляння яких на територію України обсягами понад 100 т/рік: Kozienice (Польща) – 221; Adamow (Польща) – 209; Mintia (Румунія) – 204; Belchatow (Польща) – 187; Polaniec (Польща) – 130.

За викидами CO<sub>2</sub> виділено десять ТЕС, потоки забруднюючих речовин яких, на територію України перевищують 1 млн т/рік: Belchatow, Kozienice, Rybnik, Polaniec, Opole, Turow, Jaworzno 3, Laziska (Польща), Rovinari, Turceni (Румунія).

Максимальні потоки NO<sub>x</sub> на територію України очікуються від наступних ТЕС: Belchatow, Kozienice, Polaniec (Польща), Rovinari, Turceni (Румунія).

Максимальні потоки SO<sub>2</sub> на територію України очікуються від наступних ТЕС: Belchatow (Польща) – 20,5 тис. т/рік, Kozienice (Польща) – 10,6 тис. т/рік.

У таблиці 4 наведено результати розрахунку максимальних концентрацій забруднюючих речовин на кордоні з Україною.

**Розрахункові значення максимальних концентрацій забруднюючих речовин від викидів ТЕС на кордоні з Україною**

ТЕС	Концентрація, мкг/м <sup>3</sup>			
	летюча зола	гази		
	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Belchatow	3,52·10 <sup>-3</sup>	1,10·10 <sup>2</sup>	1,01·10 <sup>-1</sup>	2,22·10 <sup>-1</sup>
Kozienice	7,13·10 <sup>-3</sup>	8,78·10 <sup>1</sup>	1,24·10 <sup>-1</sup>	2,39·10 <sup>-1</sup>
Rybnik	1,11·10 <sup>-3</sup>	1,04·10 <sup>1</sup>	1,59·10 <sup>-2</sup>	2,61·10 <sup>-2</sup>
Polaniec	3,74·10 <sup>-3</sup>	5,06·10 <sup>1</sup>	1,18·10 <sup>-1</sup>	1,37·10 <sup>-1</sup>
Opole	3,99·10 <sup>-4</sup>	1,17·10 <sup>1</sup>	1,16·10 <sup>-2</sup>	6,55·10 <sup>-3</sup>
Turow	7,14·10 <sup>-4</sup>	5,84·10 <sup>0</sup>	5,49·10 <sup>-3</sup>	8,31·10 <sup>-3</sup>
Dolna Odra	2,58·10 <sup>-5</sup>	1,65·10 <sup>0</sup>	1,52·10 <sup>-3</sup>	6,91·10 <sup>-4</sup>
Jaworzno 3	2,56·10 <sup>-4</sup>	1,29·10 <sup>1</sup>	1,33·10 <sup>-2</sup>	1,12·10 <sup>-2</sup>
Patnow I	5,22·10 <sup>-4</sup>	8,49·10 <sup>0</sup>	1,06·10 <sup>-2</sup>	8,22·10 <sup>-3</sup>
Laziska	7,88·10 <sup>-4</sup>	1,06·10 <sup>1</sup>	1,08·10 <sup>-2</sup>	1,33·10 <sup>-2</sup>
Lagisza	4,37·10 <sup>-4</sup>	8,02·10 <sup>0</sup>	1,09·10 <sup>-2</sup>	1,00·10 <sup>-2</sup>
Ostroleka	4,13·10 <sup>-4</sup>	5,96·10 <sup>0</sup>	1,25·10 <sup>-2</sup>	1,67·10 <sup>-2</sup>
Adamow	5,18·10 <sup>-3</sup>	9,94·10 <sup>0</sup>	1,90·10 <sup>-2</sup>	3,38·10 <sup>-2</sup>
Siekierki	1,36·10 <sup>-3</sup>	1,40·10 <sup>1</sup>	1,26·10 <sup>-2</sup>	1,98·10 <sup>-2</sup>
Siersza	7,98·10 <sup>-4</sup>	5,44·10 <sup>0</sup>	6,78·10 <sup>-3</sup>	1,60·10 <sup>-2</sup>
Patnow II	1,12·10 <sup>-4</sup>	3,63·10 <sup>0</sup>	2,56·10 <sup>-3</sup>	1,78·10 <sup>-3</sup>
Skawina	6,65·10 <sup>-4</sup>	4,43·10 <sup>0</sup>	8,51·10 <sup>-3</sup>	2,03·10 <sup>-2</sup>
Zeran	1,52·10 <sup>-3</sup>	1,16·10 <sup>1</sup>	1,55·10 <sup>-2</sup>	3,44·10 <sup>-2</sup>
Krakow	1,37·10 <sup>-3</sup>	1,04·10 <sup>1</sup>	2,03·10 <sup>-2</sup>	3,70·10 <sup>-2</sup>
Matra	7,66·10 <sup>-4</sup>	2,66·10 <sup>1</sup>	2,72·10 <sup>-2</sup>	1,99·10 <sup>-2</sup>
Rovinari	8,54·10 <sup>-4</sup>	1,48·10 <sup>1</sup>	2,46·10 <sup>-2</sup>	1,11·10 <sup>-2</sup>
Turceni	5,61·10 <sup>-4</sup>	1,13·10 <sup>1</sup>	2,64·10 <sup>-2</sup>	1,82·10 <sup>-2</sup>
Mintia	3,62·10 <sup>-3</sup>	1,63·10 <sup>0</sup>	6,85·10 <sup>-3</sup>	1,75·10 <sup>-2</sup>
Isalnita	3,65·10 <sup>-4</sup>	3,76·10 <sup>0</sup>	5,25·10 <sup>-3</sup>	3,39·10 <sup>-3</sup>
Craiova II	2,74·10 <sup>-4</sup>	1,41·10 <sup>0</sup>	1,70·10 <sup>-3</sup>	1,65·10 <sup>-2</sup>

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендує допустиму середньорічну концентрацію PM<sub>10</sub> для повітря на рівні 20 мкг/м<sup>3</sup> [14]. Максимальна середньорічна концентрація летючої золи PM<sub>10</sub> дорівнює 7,13·10<sup>-3</sup> мкг/м<sup>3</sup> (Kozienice, Польща). Всі розрахункові максимальні концентрації летючої золи на кордоні з Україною знаходяться на значно нижчому рівні та не перевищують 20 мкг/м<sup>3</sup>. В результаті транскордонного переносу CO<sub>2</sub> на кордоні з Україною визначена додаткова максимальна середньорічна концентрація CO<sub>2</sub> – 110 мкг/м<sup>3</sup> (Belchatow, Польща). В атмосферному повітрі середній вміст CO<sub>2</sub> знаходиться на рівні 0,046% по вазі або 595 мг/

м<sup>3</sup>. Додаток до середнього значення концентрації за рахунок транскордонного перенесення викидів ТЕС незначна [15].

Згідно даних [15] склад сухого повітря залишається практично незмінним до висоти 10000 м, а середня відносна концентрація SO<sub>2</sub> повітря знаходиться на рівні 2,86 мг/м<sup>3</sup>. ВООЗ рекомендує середньорічну концентрацію SO<sub>2</sub> для чистого повітря на рівні не більше 20 мкг/м<sup>3</sup> [14]. В результаті транскордонного переносу SO<sub>2</sub> на кордоні з Україною максимальна середньорічна концентрація SO<sub>2</sub> становить 0,239 мкг/м<sup>3</sup> (Kozienice, Польща), що істотно нижче середньої концентрації в атмосферному повітрі.

Також, ВООЗ рекомендує середньорічну концентрацію для двоокису азоту (NO<sub>2</sub>) на рівні 40 мкг/м<sup>3</sup> [14]. В результаті транскордонного переносу NO<sub>x</sub> на кордоні з Україною максимальна середньорічна концентрація становить 0,124 мкг/м<sup>3</sup> (Kozienice, Польща).

Для порівняння потоків забруднюючих речовин з територій Польщі, Угорщини та Румунії на територію України з однієї сторони і потоків з території України у зворотному напрямі, в таблиці 5 наведено результати розрахунків потоків забруднюючих речовин [16, 17].

Таблиця 5

**Розрахункові значення потоків забруднюючих речовин від ТЕС Польщі, Румунії, Угорщини на територію України і в зворотних напрямках**

Країни	Потік, т/рік			
	летюча зола	гази		
		PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
з Польщі	1,22·10 <sup>3</sup>	2,90·10 <sup>7</sup>	3,63·10 <sup>4</sup>	5,95·10 <sup>4</sup>
на Польщу	3,84·10 <sup>3</sup>	-	4,90·10 <sup>3</sup>	6,69·10 <sup>4</sup>
з Угорщини	1,42·10 <sup>1</sup>	7,70·10 <sup>5</sup>	7,87·10 <sup>2</sup>	5,76·10 <sup>2</sup>
на Угорщину	2,85·10 <sup>2</sup>	-	5,56·10 <sup>2</sup>	7,24·10 <sup>3</sup>
з Румунії	3,75·10 <sup>2</sup>	6,10·10 <sup>6</sup>	1,18·10 <sup>4</sup>	1,19·10 <sup>4</sup>
на Румунію	1,84·10 <sup>3</sup>	-	2,92·10 <sup>3</sup>	4,02·10 <sup>4</sup>

Порівнюючи потоки забруднюючих речовин з України та в зворотному напрямі, можна зробити наступні висновки (табл. 5):

- а) потік летючої золи PM<sub>10</sub> з України в Польщу в 3,1 рази більший ніж у зворотному напрямі;
- б) потік SO<sub>2</sub> з України в Польщу в 1,12 рази більший ніж у зворотному напрямі;
- в) потік NO<sub>x</sub> з України в Польщу в 7,4 рази менший ніж у зворотному напрямку.

**Індивідуальні ризики для населення України в результаті транскордонного впливу.** Для порівняння максимальних величин екологічного ризику для населення за один рік, обумовленого викидами забруднюючих речовин PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ТЕС на кордоні суміжних країн (Польща, Угорщина та Румунія) з Україною, в таблиці 6 наведено результати розрахунків [18-20].

Таблиця 6

**Розрахункові значення максимальних величин екологічних ризиків для населення України від транскордонного впливу ТЕС Румунії, Угорщини та Польщі**

Країни	ТЕС	Максимальні значення PM <sub>10</sub>	ТЕС	Максимальні значення	
				NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Румунія→ Україна	Rovinari	1,71·10 <sup>-11</sup>	Turceni	6,60·10 <sup>-10</sup>	3,64·10 <sup>-10</sup>
Угорщина→ Україна	Matra	1,53·10 <sup>-11</sup>	Matra	6,80·10 <sup>-10</sup>	3,99·10 <sup>-10</sup>
Польща→ Україна	Kozienice	1,43·10 <sup>-10</sup>	Kozienice	3,10·10 <sup>-9</sup>	4,79·10 <sup>-10</sup>

Максимальні величини екологічного ризику для населення України та Польщі на кордоні, обумовленого викидами летючої золи PM<sub>10</sub> та газів Бурштинської та Kozienice ТЕС за рік, наведено у таблиці 7.

**Максимальні величини екологічного ризику на кордоні, обумовленого викидами летючої золи  $PM_{10}$  та газів ТЕС**

Країни	ТЕС	Максимальне значення за рік
Україна → Польща	Бурштинська (Україна)	$4,72 \cdot 10^{-8}$
Польща → Україна	Kozienice (Польща)	$8,02 \cdot 10^{-9}$

**Висновки.** Найбільший потік летючої золи на територію України переноситься з Польщі, величина якого становить 12 тис. т летючої золи  $PM_{10}$  на рік. Також з Польщі на територію України переносяться потоки газів в обсягах:  $CO_2$  – 29 млн т/рік;  $NO_x$  – 36,3 тис. т;  $SO_2$  – 59,5 тис. т/рік. Обсяги цих речовин з Румунії приблизно в чотири рази менші, а з Угорщини в двічі менше.

В результаті транскордонного переносу визначена найбільша величина максимальної середньорічної концентрації  $SO_2$  ( $0,239 \text{ мкг/м}^3$ ) на кордоні України від Kozienice ТЕС (Польща). Також визначені величини максимальних середньорічних концентрацій на кордоні України  $NO_x$  ( $0,124 \text{ мкг/м}^3$ ) та летючої золи  $PM_{10}$  ( $7,13 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^3$ ) від Kozienice ТЕС (Польща).

Величина екологічного ризику за рік для населення України на кордоні з Польщею визначена з урахуванням викидів Kozienice ТЕС:  $SO_2$  ( $4,79 \cdot 10^{-9}$ ), величина якого перевищує величину ризику від  $NO_x$  ( $3,10 \cdot 10^{-9}$ ) майже в 1,6 рази і величину ризику від летючої золи  $PM_{10}$  ( $1,43 \cdot 10^{-10}$ ) в 33,5 рази.

Величина екологічного ризику за рік на кордоні з Польщею від викидів Бурштинської ТЕС (Україна) становить  $4,72 \cdot 10^{-8}$ , що в 5,9 разів більше, ніж від Kozienice ТЕС (Польща) ( $8,02 \cdot 10^{-9}$ ). Основний внесок у формування величини ризику на кордоні Польщі, обумовлений забрудненням атмосферного повітря  $SO_2$  ( $4,79 \cdot 10^{-9}$ ).

Екологічний ризик, обумовлений транскордонним переносом летючої золи  $PM_{10}$  та газів ТЕС на кордоні України, не перевищує величини абсолютно прийнятного ризику  $1 \cdot 10^{-6}$  за рік.

### Література

1. Закон України № 562-VIII від 01.07.2015 «Протокол про стратегічну екологічну оцінку». [Електронний ресурс] – Режим

доступу до ресурсу: [http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_b99?lang=en](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_b99?lang=en). (in Ukr).

2. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21.05.2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи».

3. Директива 2004/107/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 15.12.2004 «Щодо миш'яку, кадмію, ртуті, нікелю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у атмосферному повітрі».

4. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.old.minjust.gov.ua/file/33301.docx>. (in Ukr).

5. Emissions data: European Pollutant Release and Transfer Register [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: [https://www.eea.europa.eu/themes/air/links/data-sources/european-pollutant-release-and-transfer\\*\\*\\*2011](https://www.eea.europa.eu/themes/air/links/data-sources/european-pollutant-release-and-transfer***2011).

[https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2017/11/2017-11-01\\_Europe\\_Beyond\\_Coal-European\\_Coal\\_Database\\_hc.xlsx](https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2017/11/2017-11-01_Europe_Beyond_Coal-European_Coal_Database_hc.xlsx). (in Eng).

6. Węgiel zabija Analiza kosztów zdrowotnych emisji zanieczyszczeń z polskiego sektora energetycznego. Czerwiec. 2013. 60 p. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: [https://www.greenpeace.org/poland/PageFiles/548530/raportGP\\_wegiel\\_zabija.pdf](https://www.greenpeace.org/poland/PageFiles/548530/raportGP_wegiel_zabija.pdf). (in Eng).

7. Energy sector management assistance programmer. Development of Power Generation in South East Europe. Implications for investments in environmental protection. Final Report. Washington, (Belgrade, April 29, 2005), 362 p. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу:

- <http://siteresources.worldbank.org/INTECAREGTOPPOWER/Home/20572843/GIS%20ES%20Final%20Report%20finale%20fin.pdf>. (in Eng).
8. «Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин від теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт». Наказ Мінприроди України № 541 від 22.10.2008.
  9. Гусев Н. Г. Защита от ионизирующих излучений / Н. Г. Гусев. – М. Энергоатомиздат, Т.2.1990. – 352 с.
  10. Pasquill, F., 1961 «The Estimation of the Dispersion of Windborne Material», *Meteorology Magazine*. vol. 90. p. 33– 49 (in Eng.).
  11. Reid Rosnick. CAP88-PC Version 4.0. June 13, 2016. User Guide. Trinity Engineering Associates, Inc. 8832 Falmouth Dr. Cincinnati, OH 45231-5011. -276 pp.
  12. Витько В.И., Коваленко Г.Д. Потери примесей при выбросе летучей золы ТЭС. *Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення*. XIII Міжнародна науково-практична конференція. м. Харків, 11-15 вересня 2017 р. Збірник наукових статей. Харків. 2017.– С. 84–93.
  13. Витько В. И. Потери примесей при выбросах летучей золы от Змиевской ТЭС / В. И. Витько, Г. Д. Коваленко. // *Экология и промышленность*. – 2018. – №2. – С. 9–104.
  14. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02. Global update 2005. Summary of risk assessment. World Health Organization, 2006. 22 p.
  15. Технические таблицы. [Электронный ресурс] Режим доступа к ресурсу: <https://tehtab.ru/>.
  16. Коваленко Г.Д. Оценивание экологического риска выбросов летучей золы и ее составляющих Змиевской ТЭС с учетом фракционного состава / Г.Д. Коваленко, В.И. Витько, А.В. Хабарова, В.В. Каргашев и др. // *Ядерная энергетика та довілля* – 2017. – №1(9). – С. 44-48.
  17. Витько В.И., Коваленко Г.Д., Хабарова Г.В. Транскордонний вплив якості атмосферного повітря ТЕС України при спалюванні вугілля та оцінювання екологічного ризику // *Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення*. XIV Міжнародна науково-практична конференція. м. Харків, 10-14 вересня 2018 р. Збірник наукових статей. Х.: 2018, С. 115-121.
  18. Kovalenko G. D., Khabarova H. V. Health and environmental impacts of air emissions from coal-fired thermal power plants in Ukraine. / *Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: Collective monograph*. Vol. 2. Riga: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. P. 93-110.
  19. Хабарова Г.В. Екологічний ризик забруднення атмосферного повітря викидами теплових електростанцій при використанні кам'яного вугілля: автореф. дис. канд. техн. наук: 21.06.01 / Г.В. Хабарова; [Український науково-дослідний інститут екологічних проблем]. – Х.: 2016. – 24 с.
  20. Основи моделювання в ергономії, екології і хімічній технології: монографія / С. М. Логвінков, Г. Д. Коваленко, О. Б. Скородумова та ін.; за заг. ред. С. М. Логвінкова. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – 326 с.

# ДЕЯКІ МІРКУВАННЯ СТОСОВНО ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА МОРАЛІ В СИСТЕМІ «ЛЮДИНА - ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ - СОЦІУМ»

(як дискусія)

Шматков Г.Г.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2,  
03035, м. Київ  
Shmatkov7@gmail.com

**Про двоїсту природу Людини та соціуму.** Спостерігаючи понад півстоліття своєї наукової та практичної діяльності процесу розвитку взаємодії Людини і Природи, Суспільства і Природи, Людини і Громади доводиться визнати, що природні протиріччя між цими суб'єктами, які на перших етапах розвитку Людини і Соціуму, здавалося цілком можна вирішити, нині набули характеру стрімко зростаючої несумісності й гостроти.

На мій погляд, причиною наростання розбіжностей є подвійна природа Людини і Соціуму, їх дуалізм.

Дуалізм Людини полягає в тому, що Людина, елемент соціуму, конкретніше тієї його етнічної і культурної формації, в якій вона народилася та розвивалася протягом індивідуального життя. Людина – яскравий представник живої форми руху матерії, точніше, її тваринної частини. З цієї сторони вона носій всіх властивостей, характерних для живої матерії, тяглість якої понад 2 млрд років, її генетичний код абсолютно ідентичний генетичному коду будь-якої живої істоти, їх фізіологічних властивостей, особливостей обміну речовин та не відрізняються від тварини. У Людини такі ж базові інстинкти поведінки, що й у тварин (продовження роду, піклування про нащадків, самозбереження). Ці особливості розвивалися в людині протягом сотень мільйонів років, як у представника класу ссавців і понад двох мільйонів років як до представника роду Людина розумна (лат. Homo sapiens).

Звісно, що такі тваринні особливості та інстинкти впливають на поведінку людини в

соціумі, тобто, як елемента конкретної суспільної формації.

Однак, кардинальною відмінністю Людини від тварини є те, що природа наділила її свідомістю, здатністю пізнавати і пристосувати природу до своїх потреб.

Тут виявилися перші протиріччя: між людиною і природою.

Поки поведінка людини в первісних суспільних формаціях ґрунтувалася на тваринних інстинктах, вона існувала в повній гармонії з природою, використовувала її біогеоценоз без руйнування та знищення.

В подальшому громадські формації розвивалися та ускладнювалися, їм потрібні нові ресурси, і чим складнішим поставав соціум, тим більше йому потрібно природних ресурсів.

Адже будь-який соціум, будь-яка громадська формація також має дуальну природу. З іншого боку Соціум, який створений Людиною, має вже інші, якісно нові властивості та потреби.

**Про протиріччя в системі «Природа – Людина – Соціум» та соціальна відповідальність.** Для самозбереження, а це один з основних інстинктів будь-якого живого організму і Соціуму, суспільство почало формувати свої вимоги стосовно поведінки її членів (закони). Безумовно, що ці вимоги, часто суперечать тваринним інстинктам Людини. Саме тому суспільство сформувало поняття «соціальної відповідальності», тобто відповідальності Людини перед суспільством.

Ці протиріччя, інтереси суспільства та інтереси окремої особи, ґрунтуються на почутті свідомої, соціальної відповідальності, яка властива тільки Людині. Відповідальність кожного перед суспільством та відповідальність суспільства перед Людиною. Соціум, як суспільство людей, також розвивався, змінювалася його структура, збільшувались функції і, природно, відбувались протиріччя між інтересами особистості та суспільства. Якщо вони набували нерозв'язний характер, то закінчувалися війнами, революціями, в результаті яких Соціум переходив на новий рівень, в якому зменшувались основні протиріччя між особистістю та суспільством, але з'являлися нові, ще більш глибокі та гострі.

Розвиток соціуму, стрімке зростання його продуктивних сил, призвів до троїстого протиріччя, виходячи з дуалізму Людини і Соціуму та протиріччя між довкіллям (живим і неживим), Соціумом і Людиною.

І тут спостерігається цілковита дисгармонія. Зростаючі потреби окремої людини призводять до деградації та руйнування природних біогеоценозів. В результаті цього, за останні 300 років технічного прогресу зникли тисячі видів рослин та тварин. Техногенне навантаження, в місцях свого найбільш сильного впливу (гірничодобувна, металургійна, теплоенергетична галузь), змінив та зруйнував земні надра, знищив тисячі малих річок, зруйнував родючий шар ґрунту, змінив рельєф.

Про гармонійну ноосферу, в розумінні В.І. Вернадського доводиться тільки мріяти.

Протиріччя між природою і соціальним середовищем, вимагає відповідальності Соціуму перед його учасниками, адже така діяльність погіршує умови життя та існування спільноти. Це забруднення атмосфери, поверхневих вод, ґрунтів, що призводить до зниження кількості народжуваності, збільшення смертності, зростання вроджених і генетичних захворювань у людей.

Катастрофічно швидко використовуються невідновні природні ресурси (вугілля, нафта, газ, руди різних металів), чим загрожують існування майбутніх поколінь, адже руйнування природного середовища також погрожує існування самого Соціуму.

Однією з причин такого становища є те, що Людина вигадала поняття «навколишнє середовище», що абсолютно не відображає справжньої ситуації. У цьому понятті, Людина і середовище присутні ніби незалежно одне від одного, а це означає, що Людина не несе відповідальності за її стан. Насправді Людина це елемент природного середовища, яка повністю залежна від неї, її якості та ресурсів. Повітря, вода, ґрунт, речовини природи формують людину, як фізичне тіло, визначають його імунітет, здоров'я, умови життєдіяльності. Адже природа дуже добре існувала без Людини і буде існувати без неї.

Саме умови природного середовища та діяльність Людини формують Соціум. Тому безвідповідальне ставлення до природного середовища є по суті безвідповідальним ставленням до суспільства.

Діяльність соціуму складається з діяльності окремих її індивідів, тобто утворене протиріччя «Суспільство – Природне середовище» визначає діяльність окремого члена суспільства.

### **Моральні аспекти соціальної та енвайронментальної\* відповідальності.**

Як тільки ми визначаємо вплив людини на навколишнє середовище, ми переходимо в сферу моральності – тієї етичної категорії, яка властива виключно людині. Адже Соціум сформував ці поняття в інтересах збереження і розвитку самого себе, але ці категорії вступають в протиріччя між тваринною і соціальною сутністю Людини.

*\*Терміном «енвайронментальна відповідальність» автор визначає відповідальність за негативний вплив на природне середовище.*

Тваринні інстинкти Людини (збереження роду, самозбереження, турботи про потомство) добре існують на рівні сім'ї, найнижчому осередку (підсистемі) такої складної суперсистеми як Соціум. В той же час, такі інстинкти не працюють на високих рівнях організації Соціуму та у ставленні до природного середовища.

Наприклад, людина в своєму приватному помешканні підтримує чистоту та порядок, піклується про харчування та здоров'я всіх членів сім'ї. Спрацьовують його тваринні інстинкти, хоча людина думає, що діє абсолютно свідомо. Однак, Людина виходить зі свого

будинку і викидає сміття в на вулиці, скверах, парках тощо. Досить часто власники автомобілів миють свої транспортні засоби на берегах водойм, викидають використані акумулятори на звалища тощо. У таких випадках працюють не інстинкти, а свідомість. Людина забруднює і руйнує природне середовище, діє абсолютно свідомо, без розуміння трагічних наслідків своєї діяльності.

Адже не даремно, Баррі Коммонер (американський біолог, еколог та політик який сформулював основні закони екології) зазначив, що все на Землі пов'язано між собою. Викинуте сміття токсичне та небезпечне, не залишається на одному місці а переміщується в кругообігу речовин у природі, і як результат, завдає непоправної шкоди всій спільноті соціуму.

І ще один приклад, коли Людина приходять працювати на виробництво, на жаль забуває, що його діяльність може мати негативний вплив не тільки на навколишнє середовище, але й на нього, його родину та суспільство.

Ще одна особливість, на яку хочу звернути увагу – чим вище людина знаходиться в ієрархії соціуму, тим більший особистий внесок у взаємовідносини суспільства і природного середовища.

Поясню це на прикладах.

- Електрозварник викидає недогарки електродів разом з побутовими відходами. Він не знає, не розуміє чи не надає важливого значення тому факту, що токсичні речовини які містяться в цих огарках потраплять в трофічний ланцюжок кругообігу речовин і, в кінцевому результаті в організм людини. Поводиться аморально стосовно до природного середовища та учасників Соціуму. Чи усвідомлює такий робітник свою відповідальність перед суспільством? Напевно, що ні.
- Начальник цеху або головний енергетик дає розпорядження відключити систему очищення пилу і газів на підприємстві (для економії електроресурсів) він сподівається отримати грошову премію, але його дії призведуть до забруднення повітря, яким дихають люди, він розуміє,

але не надає цьому важливого значення. Він свідомо порушує закон, діє злочинно по відношенню до Соціуму та до природи.

- Директор заводу достроково вводить в експлуатацію підприємство без систем пилогазоочищення та без дотримання екологічних норм тощо. Він розраховує на вдячність суспільства, бо надав нові робочі місця, зарплату, нову продукцію тощо. Але те, що його дії призведуть до негативного впливу на населення цілого міста, він розуміє, проте не відчуває своєї відповідальності перед соціумом, а це вже аморальна і злочинна поведінка і директора і соціуму.
- Конструктор проектує металургійний завод, а будівельник його буде, щоб забезпечити промисловість і населення металом. Вони діють морально, але якщо проєктант при цьому не передбачає повну систему очищення газів, стічних вод, а будівельник будує такий завод, вони діють вкрай аморально, бо наслідки такої діяльності – це хвороби тисяч людей, дітей, і як наслідок висока смертність, руйнування природних біогеоценозів. Це злочин проти людства та природи.
- Якщо міністр і прокурор не забезпечують виконання природоохоронних законів, їхні дії також аморальні та злочинні.

Якщо подивитися навкруги, ми побачимо сотні, тисячі, мільйони подібних злочинів. Це викиди шкідливих речовин від автомобілів, великих і малих підприємств, тисячі вмираючих і зниклих річок, вирубаних та невідновлених лісів, зникнення багатьох видів тварин та рослин, руйнування озонового шару й глобального потепління Землі. Адже це, в близькому майбутньому, може привести до загрози існуванню самої людини, як біологічного виду. Це повинна розуміти кожна людина і Соціум загалом.

**Деякі регіональні та глобальні негативні наслідки енвайронментальної аморальності.** Раніше вважалося, що природний потенціал безконечний, а природа швидко відновлюється. Проте вплив людини на природу все більше зростає. Іншими словами діяльність людини стала настільки потужною, що саме вона

перетворилася у руйнівний глобальний чинник зміни середовища.

Видатний вчений В.І. Вернадський вживав термін «ноосфера». Це сфера Розуму в якій існує повна гармонія між Людиною, Природою й Соціумом. Вона може бути створена людством у недалекому майбутньому. На жаль, тільки в минулому столітті передові вчені зрозуміли, що ставлення Людини до середовища стало просто божевільним, що суперечить здоровому глузду продовжує наростати і в ХХІ столітті. Тому, можна вважати, що поки називати перетворену людиною біосферу, ноосферою передчасно.

Екологічні катастрофи, що викликані діяльністю Людини, відбувалися і в минулому. Тоді гинули цілі міста які були розташовані в квітучих долинах біля підніжжя гір, оскільки для їх існування та розвитку вирубувалися ліси біля схилів. В результаті такої діяльності міліли і зникали річки, що стікали з гір, люди позбавлялися води та покидали ці міста.

Інший приклад, коли квітучі степи і савани перетворювалися в пустелі, бо витопувалися мільйонами голів надмірно розведеної домашньої худоби. Навіть створення великих водосховищ на річках (наприклад на річці Дніпро), також можна віднести до антропогенної катастрофи вже не локального, а міжрегіонального масштабу, що повністю змінив гідрологічний і гідробіологічний баланс річки. З повноводної ріки Дніпро перетворився в каскад водойм озерного типу, і якщо не докласти належних заходів відновлення, з часом відбудеться замулення, обміління та перетворення в болота. Ці процеси, названі сукцесією та добре відомі вченим-екологам.

Подібні процеси відбуваються у всіх країнах, на всіх континентах, але й дотепер не сприйняті людством, як наочний урок та тривожний прогноз для майбутнього.

Сучасний вплив Людини на навколишнє природне середовище став глобальним. Обумовлено це тим, що результати діяльності Людини охоплюють всі сфери і компоненти Землі.

Так, за останні 200 років викиди CO<sub>2</sub> (вуглекислого газу) в атмосферу, були настільки великі, що його концентрація збільшилася

в 2 рази. В результаті утворився глобальний парниковий ефект, бо вуглекислий газ перешкоджає віддачі тепла в космос від Землі нагрітим Сонцем. Як наслідок, глобальна зміна клімату в бік потепління, різко збільшилася частота стихійних лих – урагани, цунамі, повені що охопили всі континенти Землі крім Антарктиди. Якщо потепління триватиме і в подальшому, середня температура на Землі підвищиться на 1–1,5° С, і як наслідок – танення льодовиків, глобальні повені, затоплення мільйонів квадратних кілометрів суші, зникнення сотень міст та деяких країн з поверхні Землі.

Інший приклад глобальної зміни в навколишньому середовищі під впливом діяльності людини, це повільне але неухильне зменшення озонного шару в атмосфері Землі. Все більша частота появи «дірок» в озонному шарі.

Озон в атмосфері Землі, особливо в її верхніх шарах, як екран захищає Землю від жорсткого ультрафіолетового випромінювання. Його зменшення призведе до збільшення частоти мутацій у тварин та рослин, до зміни природного, нормального обміну речовин, і як результат – зниження врожайності. У людини збільшиться кількість онкологічних та спадкових захворювань тощо. Це результати досліджень вчених за територіями, над якими з'являлися, так звані «озонові діри». Виникають озонові діри при частому запуску ракет в космос, а таких запусків проводиться сотні в рік у мирних так і у військових цілях. Глобальне потепління клімату також залежить і від потужності озонного екрану, оскільки чим більше інтенсивного ультрафіолету потрапляє на поверхню Землі, тим більше вона нагрівається, а віддачі вже інфрачервоного теплового випромінювання перешкоджає накопичення в атмосфері вуглекислого газу.

Окрім цього, озон руйнується під впливом тисяч тонн аерозолів, що викидаються з балончиків у повітря, витоків фреонів з холодильних установок, викидів оксидів азоту при спалюванні газу та інших високотемпературних процесів в металургії, хімії, теплоенергетиці. Катастрофічне зменшення озонного шару може призвести до повного знищення всього живого на Землі від впливу жорсткого ультрафіолетового випромінювання.

Особливо загострилися ці проблеми в ХХ столітті, в столітті великого науково-технічного прогресу та глобального втручання в геологічне середовище в гонитві за енергетичними і матеріальними ресурсами і це загострення продовжує наростати. Недаремно відомий фізик і філософ Н. Моїсєєв написав, що «Двадцять століття ймовірно, увійде в історію, як «століття попередження», яке поставить людство, перед фактом труднощів, про які ще кілька десятиліть тому ніхто і гадки не мав. І головна з них та, що людство знайшло можливість самознищення! Це може статися відразу, якщо вибухне ядерна війна, а може перетворитися в процес повільної і болісної деградації, якщо уникнувши ядерної катастрофи, люди не почнуть жити в гармонії з Природою, а будуть продовжувати забруднювати навколишнє середовище, скорочувати генофонд, знищувати тропічні та гірські ліси тощо».

Поки ми не зрозуміємо, що кожен з нас, особисто винен у розвитку цих глобальних і дуже небезпечних для майбутнього людства процесах, до тих пір такі явища будуть збільшуватись, що унеможливить існування всього людства у майбутньому. Поки Соціум не навчиться виховувати у спільноті почуття особистої, моральної відповідальності перед Природою до тих пір ми не знайдемо вирішення протиріч в системі «Людина – Природне середовище – Соціум».

**Український аспект моральної екологічної безвідповідальності.** Будь-яка глобальна проблема є результатом розвитку та збільшення регіональних і локальних проблем. Україна також вносить значний внесок у розвиток глобальних проблем на Землі.

В Україні щорічно викидається в атмосферу від 10 до 18 млн тонн пилу і газів (це за офіційною статистикою, а за оцінками фахівців близько 30-50 млн тонн), залежно від економічного зростання або спаду, серед яких майже третина припадає на оксиди азоту, що руйнує озоновий шар Землі. Крім того, за підрахунками фахівців внесок України у викиди парникових газів становить близько 500 млн тонн в еквіваленті CO<sub>2</sub>. До цих проблем слід додати тисячі звалищ побутових відходів, на яких виділяється метан (газ), що в 21 рази більше впливає на парниковий ефект, ніж вуглекислий газ та газ з

вугільних шахт, який наразі не вловлюється та не використовується, а викидається в атмосферу тисячами тонн.

Проблема в тому, що економіка України базується насамперед, на ресурсовидобувних галузях промисловості та металургії. Ми видобуваємо залізни, марганцеві, титанові та уранові руди. Отримуємо з них концентрати які експортуються з країни, а найбрудніші відходи (загазована атмосфера, забруднені стічні води, тверді, рідкі відходи, тисячі гектарів порушених і зайнятих небезпечними відходами земель) залишаються на території країни.

З залізної руди виробляється сталь, заготовки які також експортуються. При виплавці металу всі відходи залишаються на нашій території. Для виплавки металу потрібен кокс, який отримують на коксохімічних заводах, що є одним з найбільш екологічно небезпечних виробництв. Відходи цього виробництва також залишаються в країні.

На заході, з металу виробленого в Україні, створюють новітнє обладнання для тієї ж металургії, гірничо-видобувного комплексу, легкої та харчової промисловості, вироблять побутову техніку, якою переповнені магазини.

Країна перетворилася на сировинний придаток для розвинених країн і є найбільшим в Європі звалищем промислових і радіоактивних відходів.

Тільки на території Дніпропетровської області накопичилося близько 9,5 млрд тонн промислових відходів. У водойми щорічно скидається понад 600 млн кубічних метрів забруднених стічних вод, в атмосферу викидається понад 1 млн тонн пилу та газів, в хвостосховищах накопичено понад 60 млн тонн радіоактивних відходів.

Якщо збільшити ці цифри приблизно в п'ять разів, отримаємо загальноукраїнські обсяги забруднень. Результати цього – хімічне забруднення і гідробіологічна деградація водойм, перетворення річок, особливо малих, в стічні канали, забруднення підземних вод у багатьох регіонах країни, ерозії і хімічне забруднення ґрунтів на сотнях тисяч гектарів земель, забруднення атмосфери у великих, середніх промислових містах вище гранично

допустимих норм, що вкрай небезпечно для здоров'я населення і насамперед, для здоров'я дітей. Саме в таких містах проживає більша частина населення країни.

Додайте до цього шлейф чорнобильських проблем, екологічні проблеми уранодобувної та уранопереробної промисловості, проблеми регіонів, де закриваються сотні шахт.

Інтегральним показником вкрай несприятливої ситуації є здоров'я населення. За багатьма показниками такий стан є найгіршим в Європі. Головне є те, що в промислово розвинених регіонах України, де проживає більше 75% населення країни, смертність в 1,5-2,0 рази перевищує народжуваність, зростає кількість спадкових хвороб та вроджених вад.

Це явні ознаки депопуляції населення країни, прогресуючого дефіциту трудових і просто людських ресурсів в майбутньому.

Про який сталий розвиток країни можна говорити в таких умовах? Про його необхідність протягом багатьох років, навіть в періоди криз, наголошують провідні вчені але переважна більшість населення цього не сприймає.

Це не перебільшення, а непорушний факт.

Я переконаний, що ми знаходимося на краю екологічної та демографічної прірви. Залишилось небагато часу щоб перейти до нормального екологічно і економічно збалансованого сталого розвитку.

**Деякі напрями виходу з критичної екологічної ситуації.** Необхідно кардинально перебудувати структуру економіки України. Віддавати пріоритети машинобудуванню, приладобудуванню, електронній, легкій та харчовій промисловості, сільському господарству з повним виробничим циклом, а не видобутку невідновних природних ресурсів.

Все це повинно бути орієнтовано насамперед, на внутрішні ресурси країни і мінімально на експорт. Це дозволить оптимізувати використання первинних невідновних ресурсів, зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище, спрямувати значні ресурси на відновлення зруйнованих елементів біосфери.

Для їх реалізації потрібна нова економічна, енергетична, екологічна політики, щоб державні важелі управління економікою почали працювати саме в цьому напрямку. Тільки тоді людство можливо почне зменшувати техногенне навантаження на природу та ймовірно відновлення.

На мій погляд, власникам і керівникам великих промислових підприємств необхідно докорінно змінити ставлення щодо споживання сировинних і енергетичних ресурсів. Досвід екологічного та енергетичного аудитора переконав мене, що на кожному підприємстві є величезні резерви для мінімізації споживання сировинних і енергетичних ресурсів, можна зменшити кількість відходів, скидів та викидів тощо. Я сподіваюсь, що підвищення ціни на газ та енергетична криза змусить власників підприємств реалізувати ці ресурси.

Адже питомі енерговитрати в основних галузях промисловості в 3-4 рази вищі, ніж в розвинених країнах, а по низці галузей так і в 8-10 разів. Це прямим чином пов'язано з викидами, скидами і утворенням відходів, де питомі показники мають таке ж співвідношення як і енерговитрати.

Необхідно на державному рівні зобов'язати будь-яке підприємство провести комплексний енергетичний та екологічний аудит за допомогою спеціалізованих організацій. Розробити реальні програми із ресурсоенергозбереження та охорони навколишнього природного середовища, забезпечити їх фінансовими і матеріальними ресурсами. Таку ж роботу необхідно провести і в комунальному секторі у великих та малих містах та селищах.

Багато що залежить від того, як швидко будуть розроблені і прийняті необхідні природоохоронні закони та нормативно-правові акти, створені необхідні стимулюючі і зобов'язуючі умови для ресурсоенергозбереження країни. Тут не потрібно винаходити нового. Коли в середині 60-х років США погрозувала енергетична криза та економічний спад, саме державна політика постала вирішальним чинником у вирішенні проблеми енергозбереження. Шляхом розроблення простого але ефективного механізму стимулювання енергозбереження. В результаті, всього за десять років, зростання

валового внутрішнього продукту збільшилося майже в два рази, а споживання енергії зменшилося вдвічі. Подібна ситуація була в Німеччині. Економічні та фіскальні важелі цих процесів добре відомі. Потрібно грамотно ними користуватися.

Є ще й інший важіль виходу з екологічної, енергетичної, а отже із економічної кризи – це організація потужного громадського руху, в якому кожен його учасник чітко усвідомлює що від особистої позиції, участі у вирішенні даної проблеми залежить загальний результат.

В Україні насамперед, в промислових регіонах, зберігся досить потужний науково-технічний потенціал в численних науково-дослідних інститутах та вишах, який може не тільки провести глибокий аналіз діяльності будь-якого підприємства, але й запропонувати низку ефективних рішень для подолання екологічної та енергетичної кризи.

Я вважаю, що настав час увести поняття, як «соціальна безвідповідальність», надавши їй кримінальний аспект. Виходячи з внутрішнього сенсу цього поняття, будь-яка Людина буде покарана за безвідповідальність перед Природою та Суспільством. Але, на жаль, дотепер в суспільстві існує поблажливе ставлення до тих, хто руйнує природне середовище та основи існування людини.

Де ж вихід із наявної ситуації, яка продовжує посилюватися негативними ознаками? Насамперед, в моральній складовій. Якщо Людина з дитинства буде отримувати знання про природне середовище та призначення життя на Землі, буде виховуватись на поняттях гармонійного, відповідального, високоморального ставлення стосовно довкілля, тоді у людства буде майбутнє. Саме тоді нестримне прагнення до гедонізму, розкоші, необмеженої, всезростаючій питомій потребі споживання природних ресурсів, їх безповоротного витрачання та знищенню,

зміниться розумним аскетизмом, коли Людина почне свідомо навчатися обмежувати свої особисті та суспільні потреби в природних ресурсах та буде прагнути до гармонійного співіснування разом з природним середовищем.

Іншого шляху у людства і України немає.

На закінчення хотілося б запропонувати кілька Принципів, Законів і Правил екологічної безпеки та енвайронментальної поведінки.

#### *ПРИНЦИПИ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ*

1. Принцип морального домінування.
2. Принцип природної доцільності.
3. Принцип гарантованого майбутнього.
4. Принцип наслідування природі.
5. Принцип особистої відповідальності.

#### *ЗАКОНИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ*

1. Запобігти завжди дешевше, ніж ліквідувати.
2. Постійний екомоніторинг – гарантія безпеки.
3. Знищив ландшафт – отримав проблему.
4. Знищений, зниклий вид – не відновлюється.
5. Знищив вид – підірвав генофонд майбутнього.
6. Знищення виду веде до деградації природи.

#### *ПРАВИЛА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ*

1. Пильнуй і вивчай систему (біо-техно-соціо) та її компоненти.
2. Роби все для попередження небезпеки.
3. Якщо є ймовірність екологічної небезпеки – попередь її.
4. Ліквідууй безпечно аварії та катастрофи.
5. Перш, ніж проектувати об'єкт, подумай, чи можна обійтись без цього об'єкта.
6. Якщо обійтись не можна – прорахуй всі позитивні і негативні наслідки та порівняй їх.
7. Якщо є можливість не реалізувати проект – не реалізуй.
8. При рекультивациі головне – реінтродукція.

УДК 546.88.057:539.23

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ДЕЗАКТИВАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОАКТИВНИМИ ВІДКЛАДЕННЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКЗОТЕРМІЧНОЇ СУМІШІ

Гринько О. М., Івашенко Т. Г., Денисенко І. Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2,  
03035, м. Київ  
[ema.dea@ukr.net](mailto:ema.dea@ukr.net)

Викладені особливості дезактивування забруднених радіонуклідами поверхонь з різнорідних матеріалів за рахунок спалювання екзотермічної суміші з поглинанням радіонуклідів у шлак. **Ключові слова:** екологічна безпека, радіаційна безпека, радіоактивні відкладення, дезактивація, екзотермічна суміш.

**Environmental safety guidelines for using exothermic mixture for decontaminating radioactively contaminated metal surfaces.** Grynko A., Ivashenko T., Denisenko I. The article describes specifics of decontamination process for the surfaces made of heterogeneous materials that were contaminated with radionuclides. **Key words:** environmental safety, radiation safety, decontamination, exothermic mixture.

Забруднення поверхонь радіоактивними відкладеннями відбувається за рахунок утворення хімічних сполук нуклідів з подальшим проникненням в структуру матеріалів на глибину від 0,1 до 10 мм. В результаті взаємодії з природним середовищем нукліди перебувають у зв'язаному стані у вигляді оксидів, гідрооксидів, гідрокарбонатів та інших сполук Cs, Sr, U, Pu, Am. За рахунок проникнення у тріщини, мікропори, сполуки утворюють міцно фіксоване поверхнєве забруднення. Особливо часто це відбувається в будівельних конструкціях, у тому числі на великогабаритних та довгомірних виробках.

Видалення локального радіоактивного забруднення з поверхні матеріалу уможливить його повторне використання.

З відомих методів дезактивації поверхонь потрібно відмітити такі: механічний, хімічний, акустичний, кавітаційний, гідродинамічний.

Ці методи використовують для очищення технологічного обладнання нафтовидобувної промисловості від сольових відкладень з вмістом природних радіонуклідів. Переваги та недоліки методів наведено в таблиці 1 [1, 2].

Застосовують також рідинні технології видалення забрудненого поверхневого шару діючи на нього розчинами з додаванням хімічних реагентів або комплексів з відведенням речовин, що утворилися в результаті реакції. Радіаційно забруднені відходи очищення потребують додаткового перероблення та приведення їх в екологічно безпечний стан [3].

Враховуючи склад матеріалів (метал, графіт, бетон, кераміка, асфальт, стіни споруд, транспортні засоби) в Чорнобильській зоні відчуження з поверхневим радіаційним забрудненням для дезактивування локальних забруднень, практичне значення набуває сухий спосіб очищення, що заснований на швидкоплинному процесі горіння екзотермічної суміші [4,5].

Порошкова самозаймиста суміш (СЗС) з неметалів, наприклад, з оксидів та неметалів-відновлювачів наноситься на поверхню, після чого відбувається її горіння.

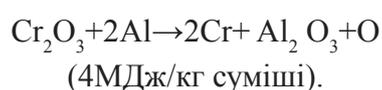
Під час горіння СЗС (швидкість горіння становить  $10^{-3}$ - $10^{-1}$  м/сек), температура сягає  $3000^{\circ}\text{C}$ , тому продукт горіння – шлак, утворюється в литому стані. У результаті цього процесу відбувається короткочасний нагрів радіаційно забрудненої поверхні. Шлак, що утворюється в результаті очищення, легко відокремлюється від поверхні механічним способом [6].

**Узагальнені відомості щодо недоліків та переваг методів очищення забруднених металевих поверхонь**

Назва методу	Принцип дії та особливості методів	Переваги	Недоліки
<i>Хімічний</i>	Часткове розчинення сольових відкладень, відшарування сольових відкладень від зовнішніх та внутрішніх поверхонь обладнання	Наявність численної номенклатури реагентів для очищення від різного хімічного складу сольових відкладень; можливість часткової або повної дезактивації	Не забезпечує повне видалення солей; агресивні реагенти можуть пошкоджувати стінки технологічного обладнання; наявність екологічно шкідливих речовин та екологічно небезпечних умов праці; велика кількість рідких та твердих відходів
<i>Механічний</i>	Відшарування сольових відкладень внаслідок механічної дії	Доступний, конструктивно простий	Підвищена ймовірність отримання некондиційного обладнання внаслідок порушення його габаритних характеристик; неможливість забезпечення досягнення унормованих значень за екологічною та радіаційною безпекою
<i>Гідродинамічний</i>	Відшарування сольових відкладень внаслідок дії рідинних струменів під час високого тиску	Не призводить до пошкодження металевих поверхонь обладнання, може бути ефективним для дезактивації	Потребує застосування спеціального обладнання; неможливість забезпечення досягнення унормованих значень за вимогами екологічної та радіаційної безпеки; необхідність застосування нестандартного спеціального обладнання; утворення значних обсягів рідких екологічно небезпечних радіоактивних відходів
<i>Кавітаційний</i>	Застосування ефекту кавітації, який призводить до відшарування сольових відкладень від металевих поверхонь	Не пошкоджуються металеві поверхні	Необхідність застосування нестандартного спеціального обладнання; утворення значних обсягів рідких екологічно небезпечних радіоактивних відходів
<i>Акустичний</i>	Використання генераторів ультразвуку для відшарування сольових відкладень від металевих поверхонь	Не пошкоджуються металеві поверхні	Недостатній досвід та відсутність позитивних результатів застосування

Інтенсивність та повнота проходження радіації самозаймистою сумішшю залежить від значення вільної енергії, утворення нових сполук з елементів, вмісту в суміші інертних домішок ( $Al_2O_3$  та інших), що знижують температуру горіння до 1500-1700°C.

Для кисневих сполук найбільш прийнятними та відновлюваними є порошкові хімічні елементи Ca, Mg, Al, Ti. Наприклад, для СЗС з оксиду хрому та алюмінію реакція відбувається за формулою:



До відновлювальних сумішей, що містять Al відносяться: Fe,  $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $FeOTiO_2$ ,  $MgCrO_4$ ,  $B_2O_3$ ,  $BaCrO_4$ , піросуміші  $Al+KCl_2O_4$ ,  $Cr_2O_3+B_2O_3$ ,  $TiO_2+B_2O_3$ ,  $V_2O_5 + B_2O_3$ ,  $CaCr_2O_4$ ; до відновлювальних сумішей що містять Mg віднесено  $CaCrO_4$ ;  $MgCrO_4$  та інші [8].

Для виготовлення СЗС можливе використання недорогої сировини - хромітових, ілюменітових руд та залізної окалини.

Експериментальні дослідження з дезактивування за допомогою СЗС виконувались на зразках зі сталі, графіту, бетону, асфальту шляхом моделювання процесу з використанням стабільних ізотопів  $^{133}Cs$  та  $^{88}Sr$ , на радіаційно забруд-

нених поверхнях. Для перших зразків поверхня оброблялась сполуками згаданих ізотопів, при цьому здійснювався контроль складу, рівня й глибини поверхневого забруднення з використанням лазерного локального аналізатора та рентген-флуоресцентного аналізатора [9].

Для інших зразків з поверхні за допомогою дозиметру-радіометру МКС-05Р вимірювалась гамма потужність та щільність потоку  $\beta$ -частинок ( $\text{см}^2/\text{хв.}$ ). Порівняльний контроль виконувався до і після дезактивування шляхом відокремлення з металеві поверхні шлаку. Також вивчався фазовий склад шлаку структурним методом [10]. Були ідентифіковані фази  $\text{Cs}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2$ ,  $\text{CsTi}_1$ ,  $\text{S}_4\text{O}_4$ ,  $\text{CaCrTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_7$ .

Для виготовлення СЗС використовувались біхромат кальцію ( $\text{CaCr}_2\text{O}_4$ ) ільменіт, алюмінієвий порошок-відновлювач (АСД-4).

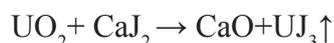
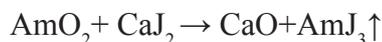
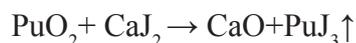
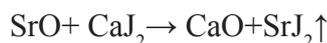
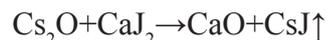
Вибір біхромату зумовлено особливістю взаємодії оксидів РН з СЗС, а саме оксидом кальцію, з утворенням твердих розчинів та евтектичних розплавів [11], ільменіту-імобілізації  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{14}\text{C}$ , у сполуки титанів та карбіду титану. Для зниження температури евтектичних розплавів в шихту біхромату додавали хлорид кальцію  $\text{CaCl}_2$ .  $\text{CaCl}_2$ , що з  $\text{CaO}$  утворює легкоплавну евтектику ( $t_{\text{пл.}} 754^\circ\text{C}$ ), який знижує температуру плавлення та горіння екзотермічної суміші.

Окрім цього, додавання в суміш  $\text{CaCl}_2$  призводить до хлорування найбільш летючих радіонуклідів  $\text{Cs}$  та  $\text{Sr}$  з утворенням сполук  $\text{CsCl}$  та  $\text{SrCl}_2$  які мають значні температури кипіння (відповідно  $1300^\circ\text{C}$  та  $2000^\circ\text{C}$ ) в порівнянні з їх металевими та кисневими сполуками, що забезпечує зменшення їх виносу та збільшення коефіцієнту переходу у шлак.

Під час використання суміші (в ваг. %) для дезактивування поверхні зі сталі, що складається з біхромату, порошку  $\text{Al}$ , хлориду кальцію, відповідно 76; 20,5; 4 після проведення екзотермічної обробки перехід  $\text{Cs}$  та  $\text{Sr}$  у шлак за один процес складав близько 90%.

Бетонні, графітові та асфальтні поверхні характеризуються глибинним міцно фіксованим забрудненням, що зумовлено дифузією радіонуклідів у матеріал на значну глибину у мікропори і мікротріщини, куди не може потрапити

екзотермічна суміш. Для дезактивування таких поверхонь необхідно поєднувати процес горіння екзотермічної суміші з процесами газофазного переносу за рахунок хімічних реакцій, які дають можливість збільшити видалення радіонуклідів (РН) з тріщин та пор. Для цього до екзотермічної суміші додають йодид (йодид кальцію  $\text{CaI}_2$ ). Таким чином, для реакції масоперенесення створюються всі необхідні умови [12,13]. По-перше, існує температурний градієнт, за якого масоперенесення відбувається із холодної зони (із глибини тріщин і пор) до гарячої зони (фронт горіння та розплавленого шлаку). По-друге, існує транспортуюча речовина, якою служать летючі (при температурі горіння суміші) йодиди нуклідів, що утворилися під час взаємодії оксидів нуклідів, які осіли на глибині тріщин з парою йодиду кальцію. Під час взаємодії пари  $\text{CaI}_2$  з оксидами нуклідів за температури  $500\div 750^\circ\text{C}$  відбувається наступні реакції:



За температури понад  $1000^\circ\text{C}$  йодиди дисоціюють на метал та йод. Утворені сполуки масоперенесення поглинаються шлаком. За загальною тиску 1 атм., для масоперенесення у більш гарячу зону, достатньо парціального тиску йодиду нукліду 10-1 атм [11].

Для оцінювання ефективності дезактивації з очищенням від РН глибинних шарів, пор, мікротріщин були виконані досліди на зразках бетону, графіту забруднених мітками РН.

На поверхню зразків наносилась СЗС суміш, що складалась в ваг. % з оксиду, порошку алюмінію марки ПА-1, хлориду кальцію, йодиду кальцію за співвідношення компонентів (71:23:6:1:5).

Після проведення екзотермічного процесу та відокремлення шлаку вимірювався порівняльний вміст РН на глибині 500 мкм., лазерним локальним аналізатором з чутливістю 10-10-10-9 гр., глибиною лунки від одного імпульсу 30 мкм.

У зразках пористих поверхонь бетону, дезак-

тивація яких проводилась сумішшю з діодом кальцію, сліди РН проявлялись лише на глибині ~500 мкм; без домішки йодиду кальцію, при цьому присутність РН до глибини 90 мкм не виявлена, сліди РН проявляються на глибині більше 90 мкм. Менший ефект був на асфальтних поверх-

нях, оскільки пори та тріщини в умовах підвищених температур «замуровуються».

В таблиці 2 наведений порівняльний вміст Cs за глибиною зразків дезактивованого бетону відповідно до вимірів локальним лазерним маспектрометром на глибині однієї лунки 30 мкм.

Таблиця 2

**Порівняльний вміст Cs за глибиною зразків дезактивованого бетону відповідно до вимірів локальним лазерним маспектрометром на глибині однієї лунки 30 мкм**

№ лунки	Без домішок CaJ <sub>2</sub> Активність (у відносних одиницях)	З домішкою CaJ <sub>2</sub> Активність (у відносних одиницях)
1	2	3
1	-	-
2	-	-
3	Слабкі сліди	-
4	2	-
5	4	-
6	5	-
7	8	-
8	10	-
9	11	-
10	13	-
11	14	-
12	16	-
13	17	-
14	18	-
15	19	-
16	20	Слабкі сліди

Під час поверхневої дезактивації методом СЗС використовувалося обладнання: місцевий зонт або укриття з'єднане фільтром газоочищення Ц-500 та витяжним вентилятором, що запобігає надходженню викидів в навколишнє природне середовище.

**Висновки.** Викладений огляд робіт з дезактивації методом СЗС локальних забруднень поверхні матеріалів РН та результати виконаних пошукових експериментальних досліджень, надали нові можливості для подальшого використання способу очищення поверхні з концентрацією РН у шлак, що відокремлюється та іммобілізації РН в нерозчинні сполуки.

### Література

1. Грапозников А. А. Дезактивация в ядерной энергетике / А. А. Грапозников, Н. И. Ампелогова. – М: Энергоиздат, 1982. – С.140-152.
2. Денисенко И. Ю. Экологически-безопасное обращение с радиационно-загрязненными насосно-компрессорными трубами нефтедобывающей промышленности / И. Ю. Денисенко. // Горная механика и машиностроение: научно-технический журнал. – 2018. – №2. – С. 22–30.
3. Мартынов Б. Р. Проблемы очистки дезактивирующих растворов. / Б. Р. Мартынов. // Сб. докладов: Научные проблемы ликвидации последствий аварий на ЧАЭС. МАЭ им. Курчатова И. В. – 1990.

4. Грінько О. М. Дезактивація приповерхневих забруднень екзотермічною сумішшю / О. М. Грінько, С. В. Шидлик. // Матеріали VII Міжнародного форуму «Проблеми поводження з РАВ». – Київ. 2008. – С. 52–55.
5. Атомная энергия. – Москва, 1999. – 54 с. – (т. 87).
6. Соболев А. И. Способ очистки загрязненного РН асфальта и других материалов в режиме саморавспространяющегося высоко-температурного синтеза. / А. И. Соболев. – Москва: Проспект НПО «Мос Радон», 1999.
7. Соболев И. А. Способ сжигания РАО и дезактивации в полевых условиях. / И. А. Соболев, И. А. Дмитриев. // Патент РФ № 96124032 МПК G 21 F 9/32. – 1998.
8. Патентный поиск по материалам горения СВС, обзор 1. СССР. // Обзор 1, т.204. – 1980. – №1. – С. 366–369, 120–124.
9. Зыков Т. А. Лазерный микроанализ для технологий переработки РАО и контроля окружающей среды. / Т. А. Зыков. // Труды международной конференции // «Воздух Азии 21 век», Алма-Аты. – 2000.
10. Гречанівська О. Е. Дослідження фазового складу іммобілізованих мінералоподібних сполук / О. Е. Гречанівська, О. М. Грінько, С. Ю. Саєнко. // Матеріали IX Міжнародного форуму «Проблеми поводження з РАВ». Київ. – 2010. – С. 89–91.
11. Стерлин Я. Н. Металлургия урана. / Я. Н. Стерлин. – Москва: Госатомиздат, 1962. –С. 93-96, с. 233-234.
12. Шеффер Г. Химические транспортные реакции / Г. Шеффер. – Москва: Мир, 1964. –127 с.
13. Штессель Э. А. Газотранспортные СВС реакции. / Э. А. Штессель. – Москва: ВИНТИ, 1988. – С.85-93.

# СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ УРАНОВОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПОТРЕБ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Дудар Т.В.<sup>1</sup>, Коваленко Г.Д.<sup>2</sup>, Фролов В.Ф.<sup>3</sup>, Фаррахов О.В.<sup>4</sup>, Орленко Т.А.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»  
просп. Паладіна 34-а, 03142, м. Київ  
[dtv.nau@gmail.com](mailto:dtv.nau@gmail.com)

<sup>2</sup> Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Інститут фізики високих енергій і ядерної фізики  
вул. Академічна 1, 61108, м. Харків  
[grygoryk0@gmail.com](mailto:grygoryk0@gmail.com)

<sup>3</sup> Національний авіаційний університет  
просп. Космонавта Комарова, 1, 03058, м. Київ  
[frolov47@ukr.net](mailto:frolov47@ukr.net)

<sup>5</sup> Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України,  
вул. Олесь Гончара 55Б, 01601, м. Київ, [tetianaorlenko@ukr.net](mailto:tetianaorlenko@ukr.net)

Представлено результати аналізу та оцінки сучасного стану виробництва та споживання уранової сировини для забезпечення потреб ядерної енергетики за останні 10 років. Показано, що сучасний стан обсягів видобування та перероблення уранової сировини достатній для задоволення потреб в ядерному паливі у короткостроковій перспективі. Світовий видобуток урану досягнув максимуму в 2016 році і склав більше 62 тис.т., але в 2017–2018 роках видобування цієї сировини знизилось через поточні низькі ціни на уран у світі. Прогнозується, що у довгостроковій перспективі будуть потрібні додаткові інвестиції для удосконалення технологій видобування та розроблення законсервованих родовищ у разі зростання попиту на уран. Відзначено, що громадськість в багатьох країнах чинить опір та має сумніви щодо доцільності інвестицій в ядерну енергетику з одного боку, а з іншого – зростає скептицизм, особливо в Європі, щодо розвитку гірничовидобувної промисловості в цілому. Визначено, що подальші дослідження доцільно зосередити на залученні геоінформаційних технологій для підсилення екологічної складової процесів видобування і перероблення, включаючи оцінку довготривалого впливу на оточуючі території, деградації земельних ресурсів, змінення ландшафтних покривів тощо.

**Ключові слова:** уранова сировина, родовища

урану, видобування та споживання урану, екологічна безпека.

**Current state of production and consumption of uranium raw material for the needs of nuclear power. Dudar T., Kovalenko G., Frolov V., Farrakhov O., Orlenko T.** The article presents the results of analysis and evaluation of the current state of production and consumption of uranium raw material for the needs of nuclear power in the last 10 years. It shows that the current state of uranium mining and processing capacities is sufficient to meet the needs of nuclear fuel in the short term. World uranium production reached its maximum in 2016 with more than 62 thousand tons, but in 2017-2018 the production of this raw material decreased due to current low prices for uranium in the world. It is anticipated that in the long term, additional investments will be needed to improve mining technologies and the development of preserved deposits in the event of a rise in demand for uranium. It is noted that the public in many countries is resisting and has doubts about the feasibility of investing in nuclear energy. There is a growing skepticism within the society, especially in Europe, with regard to the development of the mining industry as a whole. Further research will focus on the use of geoinformation technologies and will include the assessment of long-term impact on surrounding territories, land degradation,

landscaping, etc. **Key words:** uranium raw material, uranium deposits, uranium mining and consumption, environmental safety.

**Вступ.** Прискорення процесу глобалізації істотно вплинуло на природу та принципи функціонування й розвитку системи міжнародної безпеки. Наразі багато держав розглядають ядерні технології, як одне з найбільш ефективних рішень для задоволення зростаючої потреби в енергії, скорочення викидів парникових газів, пом'якшення змін клімату, а також як протидію коливанням цін на джерела енергії. Для України, як і для більшості держав світу, питання безпеки, збереження власного суверенітету наштовхується на проблеми, зокрема, атомної енергетики та стратегічної сировини для її розвитку. Ядерна енергетика працює завдяки урановій сировині – головного виду палива, одній з ключових низьковуглецевих технологій генерації електроенергії. Оскільки уран видобувається в небагатьох країнах, а використовується для виробництва палива для більшості атомних електростанцій (АЕС) світу, його справедливо називають цінним глобальним стратегічним сировинним ресурсом. Таким чином, як важливу наукову, практичну та соціальну задачу, яка потребує нагального

вирішення, автори розглядають сучасний стан уранового виробництва та його споживання в світі та Україні за останні 10 років на базі аналізу світових ресурсів та попиту на уран для забезпечення потреб ядерної енергетики, акцентуючи увагу на ресурси країн – головних постачальників уранової сировини в світі.

**Світові ресурси та попит на уран для потреб ядерної енергетики.** Головним чином попит на уран визначається потребами ядерної енергетики (табл.1). Авторами вибірково представлено країни, що мають попит на уранову сировину, оскільки в них функціонують принаймні дві та більше АЕС, вагома частка електроенергії виробляється за рахунок ядерної енергії та розглядаються перспективи щодо її розвитку. За даними Всесвітньої ядерної асоціації (ВЯА) станом на 2018 рік (рис. 1) та Міжнародного агентства з атомної енергетики (МАГАТЕ) (рис. 2) в 30 країнах світу експлуатується 451 атомних реактори, і ще 59 перебувають на стадії будівництва (що дорівнює приблизно 15% існуючої потужності виробництва електроенергії). При цьому, в 2017 році було остаточно зупинено п'ять станцій, а роком раніше – ще чотири електростанції [1-2].

Таблиця 1

**Обсяги попиту на уран для виробництва електроенергії на об'єктах ядерної енергетики в країнах світу в 2017 році [1]**

Країна	Виробництво електроенергії на об'єктах ядерної енергетики, 2017 р.		Кількість реакторів (березень 2019 р.)		Попит на уран, тU 2017 р.
	ТВт	%	робочих	на стадії будівництва (та заплановані)	тонн, U
Бельгія	40.0	49.9	7	0	987
Болгарія	15.5	34.3	2	0	327
Великобританія	21.6	33.2	4	1 (+1)	494
Іспанія	55.6	21.2	7	0	1275
Канада	96	14.6	19	0	1592
Китай	247.5	3.9	45	13 (+43)	8289
Німеччина	72.2	11.6	7	0	1480
Пакистан	7.9	6.2	5	2 (+1)	217
Південна Корея	141.1	27.1	23	5	4730
Росія	187.5	17.8	35	6 (+25)	5380
Румунія	10.6	17.7	2	0 (+2)	183
Словаччина	14.0	54.0	4	2	651
США	805.0	20	98	4 (+14)	18.996

Угорщина	15.2	50	4	0 (+2)	349
Україна	85.6	55.1	15	0 (+2)	1944
Фінляндія	21.6	33.2	4	1 (+1)	494
Франція	379.1	71.6	58	1	9502
Чехія	26.8	33.1	6	0 (+2)	649
Швеція	3.1	39.6	8	0	1188
Японія	29.1	3.6	37	2 (+1)	662

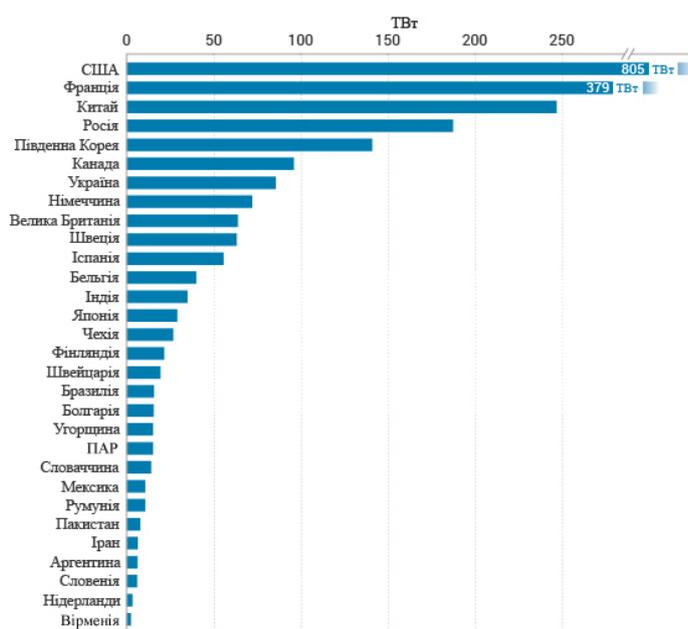


Рис. 1. Виробництво електроенергії атомними електростанціями світу, 2017 р.

Насправді ж, багато інших країн також частково залежать від ядерної енергетики. Наприклад, Італія та Данія отримують майже 10% своєї електроенергії з імпортованої ядерної енергетики. Аналізуючи рис. 2, робимо висновок щодо частки ядерної енергетики в 30 країнах світу. У 2017 році тринадцять країн світу виробили, принаймні, чверть електроенергії на об'єктах ядерної енергетики, а Франція отримує близько трьох чвертей такої електроенергії; Угорщина, Словаччина та Україна – більше половини, тоді як Бельгія, Швеція, Словенія, Болгарія, Швейцарія, Фінляндія та Чехія – третину або більше.

У Південній Кореї частка виробленої електроенергії на об'єктах ядерної енергетики складає понад 30%, тоді як в США, Великобританії, Іспанії, Румунії та Росії ця величина дорівнює близько однієї п'ятої. За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), до 2030 року загальносвітове

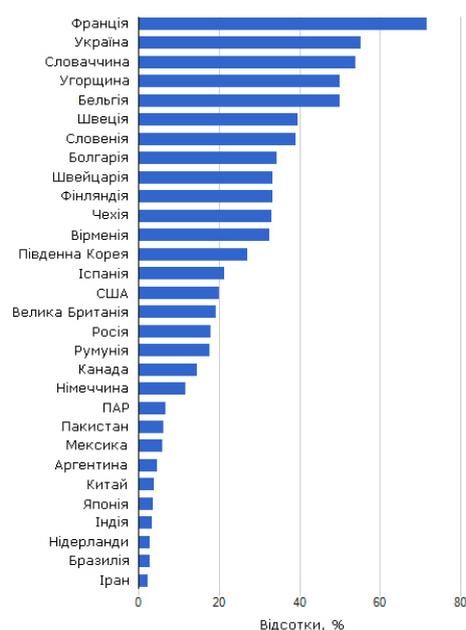


Рис. 2. Частка ядерної енергетики в загальному виробництві електроенергії по країнах світу, 2017 р.

споживання електроенергії зросте на 18%, а до 2050 року – на 39%, в зв'язку з чим виникає питання, яку роль в задоволенні цього зростаючого попиту буде відігравати ядерна енергетика. За умови максимальної оцінки МАГАТЕ потужності вироблення електроенергії на АЕС зростуть на 42% до 2030 року і понад 100% до 2050 року. Така оцінка передбачає збереження поточних темпів економічного зростання в поєднанні із зростанням інтересу до ядерної енергетики у країнах Східної Азії [1-3]. Згідно з оцінками різних експертів, запасів урану на нашій планеті вистачить більш як на 100 років. Проте, як і решта корисних копалин, уран є вичерпним ресурсом. Щоб уникнути дефіциту урану найближчим часом, важливо, щоб його видобували, транспортували, переробляли та управляли цими процесами виключно з урахуванням сучасних екологічних підходів «від розвідки родовища до реабілітації забруднених територій».

Новим поколінням ядерних енергетичних реакторів, яким залежно від використовуваної технології, потрібно менше урану, в тому числі реакторів малої та середньої потужності або модульним реакторам, належить центральна роль в управлінні використанням цього важливого ресурсу. Кларк урану в земній корі дорівнює 0,0003%, концентрація урану в морській воді становить приблизно 3,3 мг/м<sup>3</sup>.

Є дані, що земна кора від поверхні до 20 км на глибину містить 1,3·10<sup>14</sup> тонн урану. Проте лише в деяких країнах світу цей метал видобувається промисловим способом. Традиційно за останні роки фіксується статистика щодо найбільших світових ресурсів урану в таких країнах як [4]: Австралія, Казахстан, Канада, Росія, Намібія, Південно-Африканська Республіка, Китай, Нігерія та Бразилія (табл. 2).

Таблиця 2

**Світові ресурси урану [4]**

Країни	тонн U	Відсоток	Країни	тонн U	Відсоток
Австралія	1818300	30%	Узбекистан	139200	2%
Казахстан	8422	14%	Україна	1141	2%
Канада	5144	8%	Монголія	1135	2%
Росія	4856	8%	Ботсвана	73500	1%
Намібія	442100	7%	Танзанія	58200	1%
ПАР	3224	5%	США	472	1%
Китай	2904	5%	Йорданія	435	1%
Нігер	280000	5%	Всього у світі <b>6142600 т U</b> (всі інші країни – 2806 т U, 4%)		
Бразилія	2768	5%			

У 2018 році МАГАТЕ за підтримки Геологічних служб провінції Саскачеван (Канада), Південної Австралії та США оприлюднило інтерактивну цифрову мапу уранових родовищ світу на основі бази даних уранових родовищ UDEPO МАГАТЕ 2016, яка постійно оновлюється і включає технічну та детальну геологічну інформацію по родовищах урану [5-6]. З часу публікації першого видання мапи в 1995 році обсяг матеріалів і різноманітність доступної інформації суттєво збільшились – перше видання включало інформацію по 582 а останнє – по 2831 родовищу урану в світі (рис. 3). Цей величезний обсяг інформації відображається на мапі інакше. На ній уранові родовища розбиті на 15 різних типів та відповідних підтипів. Інформація по Україні міститься в окремій вкладці, що називається «Центрально-Український регіон» (Central Ukraine region).

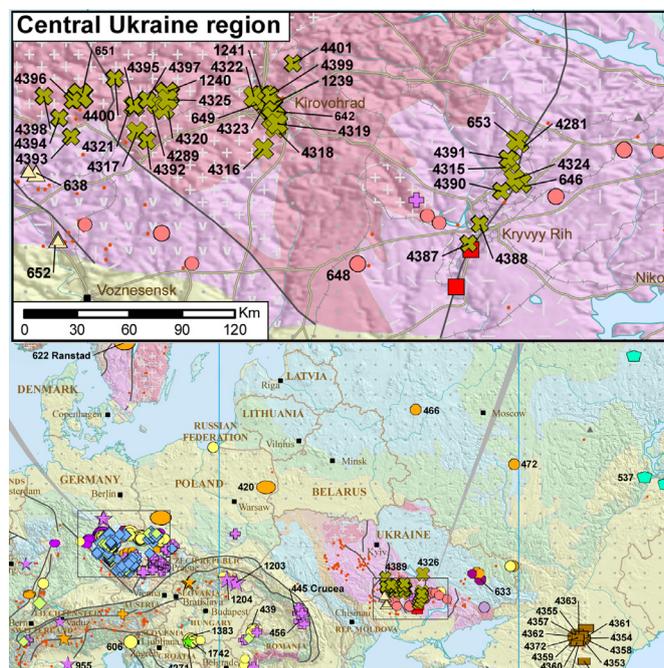


Рис. 3. Фрагмент нової мапи світових родовищ урану, 2018 р. [6]

Враховуючи масштаб мапи (1:35 000 000), а також той факт, що всі матеріали було засекречено до 2007 року, то ступінь достовірності інформації не може бути беззаперечним. Проте, представлені основні типи родовищ на фоні затінених контурів рельєфу в метасоматитах центральної

частини Українського щита (УЩ), дає загальне уявлення про уранові ресурси країни. Важливою особливістю мапи є те, що користувачі можуть отримувати вибіркочу інформацію, наприклад, за окремими типами родовищ в розрізі потрібних регіонів (роблячи невидимими інші), а також текстові дані по конкретному родовищу. Звичайно, користь для подальшого застосування значного обсягу матеріалу класифікованого і впорядкованого відповідним чином, ще буде оцінено у майбутньому.

Три типи родовищ з п'ятнадцяти наразі домінують (в них зосереджено 60% запасів): пісковиковий тип (родовища Казахстану, Намібії, США, Узбекистану та Росії); тип «неузгодження», який формується на кордоні кристалічного фундаменту і осадових порід (Канада); брекчієвий тип, де рудами є збагачені ураном брекчії вулканічних порід (Австралія) [6-9]. У сировинній базі деяких країн істотну роль відіграють інші промислові типи: в Південно-Африканській Республіці (ПАР) – конгломерати, в Росії – вулканогенний, в Намібії – інтрузивний.

Агентство з ядерної енергії (АЯЕ) Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) спільно з МАГАТЕ підготувало доповідь «Уран – Ресурси, Виробництво і Попит» (Uranium – Resources, Production and Demand), що містить огляд світового ринку урану. Такі огляди АЯЕ видаються один раз

на два роки. У доповіді узагальнені статистичні дані з 41 країни – виробників і споживачів урану [9]. Як зазначається у доповіді, загальний обсяг доведених запасів урану з економічно рентабельною видобутком (собівартість не більше 130 USD за кг/урану) станом на 2017 рік становила 6,142 млн т, що на 7,4% більше, ніж у 2016 році. Це збільшення пов'язане як з відкриттям нових родовищ, так і з переоцінкою запасів вже існуючих.

Основний висновок, який зроблено у доповіді – нинішній стан з постачанням урану достатній для забезпечення наявних потреб в ядерному паливі в короткостроковій перспективі, але будуть потрібні додаткові інвестиції та науково-технічні дослідження для розроблення законсервованих родовищ необхідних для зростаючого попиту у разі активізації будівництва нових АЕС у майбутньому.

**Світове виробництво та споживання урану.** Світовий видобуток урану за останні більш як 10 років досягнув максимуму в 2016 році і склав понад 62 тис. т – що на 3% більше, ніж у 2015 році (рис. 4, табл. 3). Але вже в 2017-2018 рр., видобуток знизився приблизно до 59,3 тис. тонн [4]. Це пов'язано з тим, що основні експортери урану - Канада та Казахстан - знижують рівень видобутку через поточні низькі ціни на уран у світі.

Таблиця 3

#### Обсяги виробництва урану в світі за період з 2007 по 2017 роки, тонн [4]

Країна	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Казахстан	6637	8521	14020	17803	19451	21317	22451	23127	23607	24586	23321
Канада	9476	9000	10173	9783	9145	8999	9331	9134	13325	14039	13116
Австралія	8611	8430	7982	5900	5983	6991	6350	5001	5654	6315	5882
Намібія	2879	4366	4626	4496	3258	4495	4323	3255	2993	3654	4224
Нігер	3153	3032	3243	4198	4351	4667	4518	4057	4116	3479	3449
Росія	3413	3521	3564	3562	2993	2872	3135	2990	3055	3004	2917
Узбекистан	2320	2338	2429	2400	2500	2400	2400	2400	2385	2404	2404
Китай	712	769	750	827	885	1500	1500	1500	1616	1616	1885
США	1654	1430	1453	1660	1537	1596	1792	1919	1256	1125	940
Україна	846	800	840	850	890	960	922	926	1200	1005	550
Індія	270	271	290	400	400	385	385	385	385	385	421
ПАР	539	655	563	583	582	465	531	573	393	490	308
Всього у світі	41282	43853	50773	53671	53494	58490	59331	56042	60304	62379	59462
Тонн $U_3O_8$	48683	51702	59875	63295	63084	68976	69969	66089	71113	7356	7012
% світового попиту	64%	68%	78%	78%	85%	86%	92%	85%	98%	98%	92%

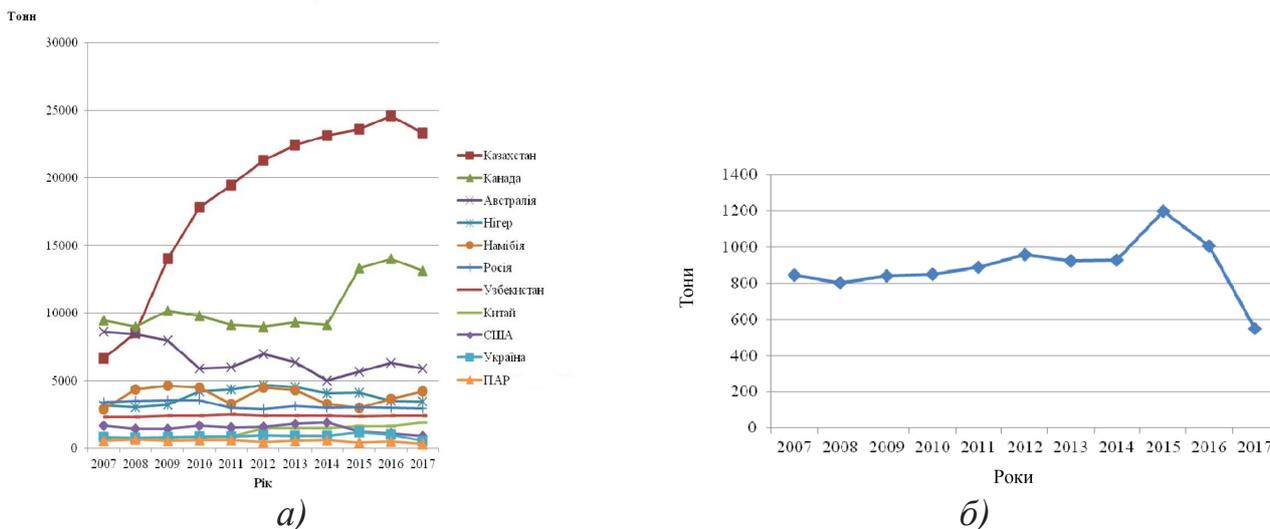


Рис. 4. Динаміка видобутку урану за період з 2007 по 2017 роки, тонн;  
а) у світі; б) в Україні

Із 30 країн, які нині використовують уран для роботи своїх АЕС (рис. 1-2), тільки Канада і Південно-Африканська Республіка (ПАР) забезпечили свої потреби необхідною сировиною у 2016 році (рис. 5) [1]. Всі інші країни використовують імпортований уран або вторинні джерела. Тому міжнародна торгівля ураном є необхідною передумовою ринку цієї сировини. Враховуючи нерівномірний географічний розподіл між виробниками та споживачами, вимоги до міжнародних перевезень та трансфери до різних портів світу залишаються важливими умовами міжнародного бізнесу. Більшість контрактів в урановому виробництві передбачають довгостроковий характер, і в них встановлюються як максимальні рівні цін для захисту споживачів, так і мінімальні рівні – для захисту інтересів видобувних компаній. Хоча світові ціни і впливають на загальну ринкову ціну, змінюється вона не так швидко. Залежно від поточної ринкової ціни і масштабу ядерно-енергетичної програми конкретної країни, економічно вигідно імпортувати уран, ніж його видобувати.

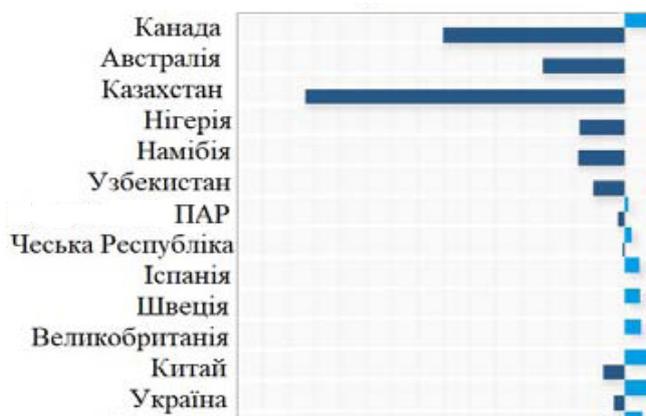


Рис. 5. Світове виробництво та споживання урану [1]

У деяких країнах (Індія та Китай) уранові рудники, головним чином, забезпечують безперерйність постачання на внутрішній ринок, в той час як економічна доцільність має другорядне значення. Проте, основний обсяг урану в світі, наразі видобувається на комерційній основі. Одні країни, наприклад, Австралія, Казахстан та Намібія, виробляють уран на експорт, інші, в тому числі Канада – використовують видобутий уран для своїх потреб і частково експортують. У довгостроковій перспективі прогнозується зростання попиту на уран, тому і ціни на нього також будуть зростати. Однак, експерти вважають, що важко спрогнозувати наскільки ціни виростуть та коли таке відбудеться, оскільки громадськість в багатьох країнах має сумнів щодо доцільності інвестицій в ядерну енергетику з одного боку, а з

іншого – зростає скептицизм щодо розвитку гірничорудної промисловості в цілому.

У наведеній доповіді [9] наголошується, що нині світовий парк атомних реакторів має сумарну потужність 391 ГВт, що вимагає 62,825 тис. тонн урану на рік. Рівень видобутку урану у 2016 році забезпечив ці потреби на 99,9%, а в 2017 році – на 95%. Прогнозовано на 2035 рік, в залежності від співвідношення між кількістю запланованих до введення та виведення з експлуатації АЕС, сумарні атомні генеруючі потужності складуть в діапазоні від 331 до 586 ГВт, що відповідатиме потребам від 53 до 91 тис. тонн урану на рік. У країнах ОЕСР показники між виробництвом і споживанням урану суттєво не змінилися, оскільки обидва показники протягом 2016-2017 років знизилися. Потреби для роботи реакторів було забезпечено за рахунок імпорту та вторинних джерел.

Економічні показники уранового виробництва не стабільні: за останні десять років ціни на уран демонстрували найбільш високий рівень у 2007 році – максимальне значення ціни досягло 300 USA США за кг, а в 2016 році був зареєстрований мінімум в розмірі 41 USA за кг (рис. 6).

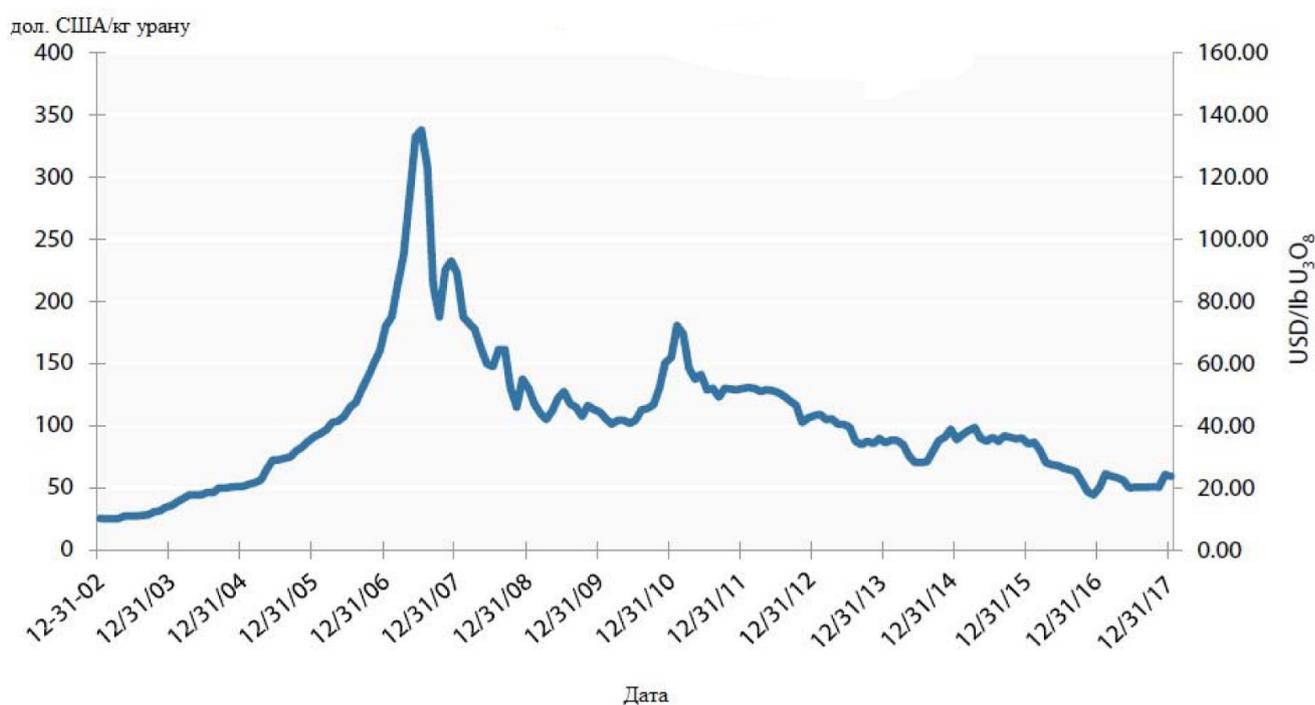


Рис. 6. Динаміка змінення світової ціни на уран за період з 2002 по 2017 роки [3]

Нині, коли ціни на уран коливаються біля позначки 49 доларів США за кг, багато з найбільших уранових рудників світу переведені в режим утримання і обслуговування. Експерти вважають, що

відновити їх роботу буде економічно доцільно лише тоді, коли світова ціна перевищить вартість виробництва і, згідно з прогнозами, буде триматися на одному рівні або ж рости.

Витрати на розвідку і розробку уранових родовищ знизилися понад 2 млрд доларів США в 2014 році до 663,7 млн доларів США в 2016 році і, як очікується, будуть продовжувати знижуватися як відповідь на падіння уранового ринку. У числі країн, що знизили витрати на геологорозвідувальні роботи, названі Росія, США, Австралія, Канада, Китай, Чехія та Намібія.

У той же час, Казахстан за останній період збільшив витрати на геологорозвідку урану з 34,7 до 60 млн доларів США. В абсолютних цифрах найбільше коштів на це витрачає Канада, Китай та Індія [2-4].

#### **Виробництво урану в Україні.**

В Енергетичній стратегії на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» зазначається, що Україна розглядає атомну енергетику як одне з найбільш економічно ефективних низьковуглецевих джерел енергії [10]. Тобто,

подальший розвиток ядерного енергетичного сектору на період до 2035 року прогнозується виходячи з того, що частка атомної генерації в загальному обсязі виробництва електроенергії зростатиме. Діючий потенціал 15 енергоблоків (13 – з реакторами типу ВВЕР-1000 та 2 – ВВЕР-440) чотирьох АЕС країни дозволяє покривати близько 55% попиту на електричну енергію. У своїй діяльності Державна інспекція ядерного регулювання України постійно здійснює контроль за реалізацією заходів Комплексної (зведеної) програми підвищення безпеки енергоблоків АЕС України (Постанова Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2011 р. № 1270). Три енергоблоки ЧАЕС зняті з експлуатації в Чорнобильській зоні відчуження, енергоблок №4 – разом з об’єктом «Укриття» й новим безпечним конфайнментом перебуває у процесі перетворення на екологічно-безпечну систему. В Україні є низка об’єктів по

поводженню з відпрацьованим ядерним паливом, радіоактивними відходами й джерелами іонізуючого випромінювання.

Промислові родовища урану України розташовані в межах Кіровоградської області (рис. 3, 7). Родовища відрізняються низьким вмістом в них урану, проте мають ряд особливостей, що забезпечують конкурентну здатність виготовленого уранового концентрату, а саме: розвинена інфраструктура видобування урану та виготовлення уранового концентрату; великі розміри уранових покладів; висока міцність урановмісних порід, що дозволяє проходити очисні блоки великих об’ємів, а гірські виробки без кріплення; відносно невеликі водні притоки до гірничих виробок; відносно прості заходи щодо радіаційного захисту завдяки невеликому вмісту урану в рудах [11-14].

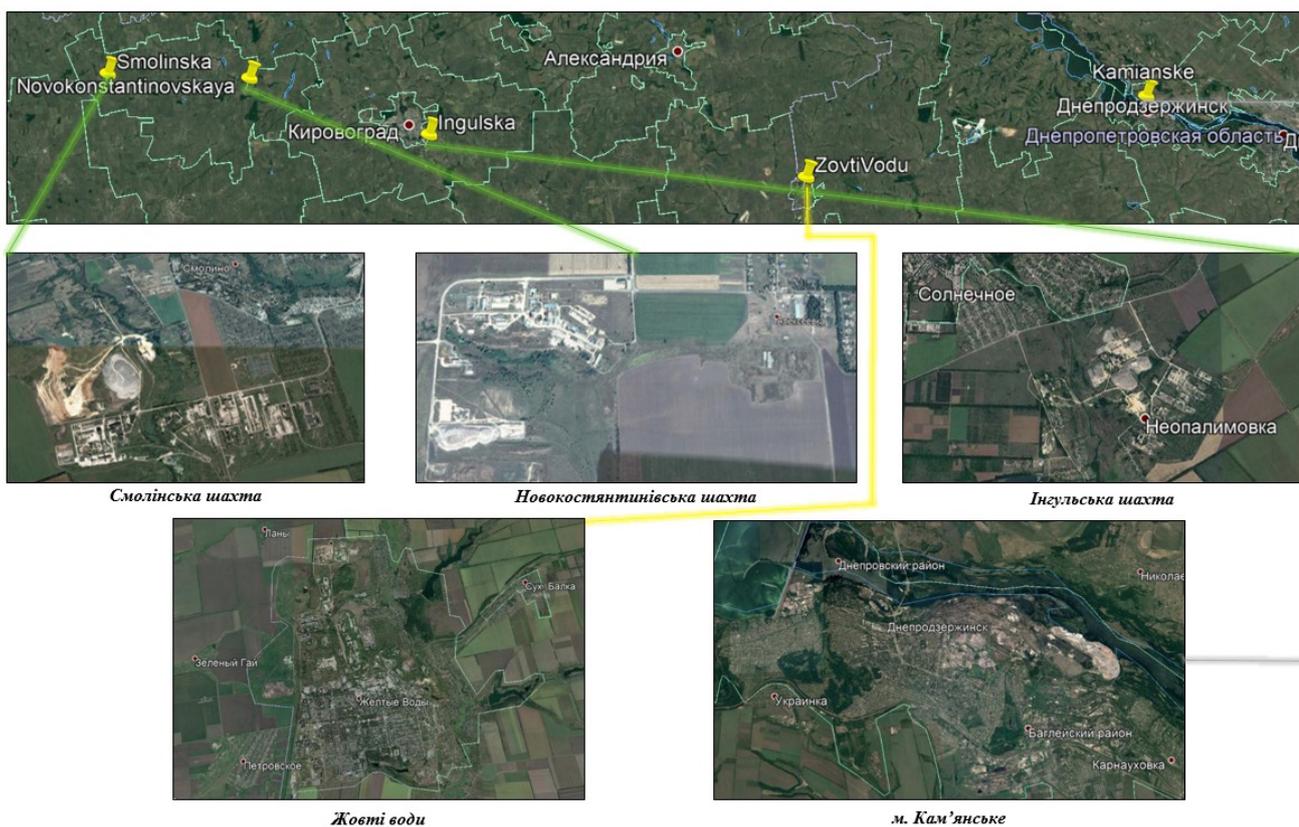


Рис. 7. Розташування уранових виробництв в Україні

Нині повний цикл робіт із видобування, перероблення уранових руд та отримання уранового концентрату ( $U_3O_8$ ) здійснює підприємство ДП «СхідГЗК» у м. Жовті води Дніпропетровської області. До його складу входять три діючі урановидобувні шахти – Смолінська (розробляє Ватутінське родовище), Інгульська (розробляє двародовища – Мічурінське та Центральне) та Новокосянтинівська шахта (розробляє Новокосянтинівське родовище) (рис. 7). Дотримання екологічної безпеки та відновлення (рекультивациі) територій урановидобувних підприємств та суміжних ділянок є дуже актуальним для України, оскільки вони знаходяться відносно близько до населених пунктів та шкідливо впливають на навколишнє природне середовище та здоров'я населення. Автори вважають, що для забезпечення потреб ядерної енергетики в Україні необхідно удосконалювати власну сировинну базу із забезпеченням новітніх технологій видобування та збагачення. Також необхідно залучати новітні методи дослідження, зокрема, геоінформаційні технології, для підсилення екологічної складової процесів видобування і переробки, включаючи оцінку довготривалого впливу на прилеглі території, деградації земельних ресурсів, змінення ландшафтних покривів тощо.

**Висновки.** Аналіз та оцінка сучасного стану виробництва та споживання урану в світі засвідчив, що ресурсів достатньо для задоволення потреб в ядерному паливі в короткостроковій перспективі. Проте у довгостроковій перспективі будуть потрібні додаткові інвестиції і науково-технічні дослідження для удосконалення технологій видобування урану та розроблення законсервованих родовищ, необхідних для зростаючого попиту на уран у разі активізації будівництва нових АЕС у майбутньому. Протягом останнього десятиліття загальносвітові відомі ресурси урану зросли на 21%, проте ресурси в категорії низьких витрат <80 \$ / кгU зменшилися на 48%.

Автори вважають, що для задоволення потреб ядерної енергетики в Україні необхідно вдосконалювати власну сировинну базу із забезпеченням новітніх технологій видобування і збагачення уранової сировини. Подальші

дослідження планується зосередити на залученні геоінформаційних технологій для підсилення екологічної складової процесів видобування і перероблення, включаючи оцінку довготривалого впливу на оточуючі території, деградації земельних ресурсів, змінення ландшафтних покривів тощо.

## Література

1. International Atomic Energy Agency. Uranium: From Exploration to Remediation. June, 2018. Mode of access: <https://www.iaea.org/publications/magazines/bulletin/59-2>.
2. UxC LLC. Uranium Supplies Annual – 2018. Mode of access: [https://www.uxc.com/p/products/rpt\\_usa.aspx](https://www.uxc.com/p/products/rpt_usa.aspx)
3. World Nuclear Association. Uranium Resources and Supplies, February 2019. Mode of access: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle.aspx>
4. World Nuclear Association. World Nuclear Reactors and Uranium Requirements, March 2019. Mode of access: <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures.aspx>.
5. Uranium 2016: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the IAEA (2016).
6. Map of World distribution of Uranium Deposits. Mode of access: <https://www.iaea.org/publications/12314/world-distribution-of-uranium-deposits>
7. Ляшенко В.І., Топольний Ф.Ф., Мостіпан М.І., Лісова Т.С. Екологічна безпека уранового виробництва: монографія /за редакцією доктора біологічних наук, професора Ф.Ф. Топольного. – Кіровоград: КОД. – 2011. – 236 с.
8. Boytsov A. Sustainable development of uranium production: status, prospects, challenges. Uranium Raw material for Nuclear Fuel Cycle. Book of Abstracts and Extended Abstracts. Uran-2018. 25–29 June 2018, Vienna, Austria. P. 49-50. Mode of access: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/cn-261-abstracts.pdf>

9. Uranium 2018: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the IAEA (2018).
10. Урядовий портал. Розпорядження від 18 серпня 2017 р. № 605-р. «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>
11. Коваленко Г. Д. Радіоекологія України / Г. Д. Коваленко. – Х.: ИНЖЕК, 2013. – 344 с.
12. Коваленко Г.Д., Сегеда С.О. Можливості використання системного та ландшафтного аналізу для комплексної екологічної оцінки впливу техногенних об'єктів на довкілля. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. Збірник наукових праць УКРНДІЕП, вип. 31, Видавничій Дім «Райдер», Х., 2009, с. 29 -37.
13. Уранові руди України. Геологія, використання, поводження з відходами виробництва. Лисиченко Г.В., Мельник Ю.П., Лисенко О.Ю., Дудар Т.В., Нікітіна Н.В. Монографія. Проект «Наукова книга». – К.: Наук. думка, 2010. – 221 с. (in Ukrainian).
14. Dudar T.V., Lysychenko G.V., Buhera M Uranium resources of Ukraine: geology, mineralogy, and some mining aspects. Monograph. Lambert Publishing House. – Riga, 2018. – 100 p.

# МЕТОД ПРОСТОРОВОГО ВІДОБРАЖЕННЯ ПОЛІВ РОЗПОДІЛУ РАДІАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ПРИКЛАДІ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ НА ТЕРИТОРІЇ ВАТУТІНСЬКОГО РОДОВИЩА УРАНУ

Тищенко Ю.Є.

Державна установа

«Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Просп. Академіка Палладіна, 34а, 03142, м. Київ

u-risk@ukr.net

Висвітлено питання оптимізації процесу обробки та інтерпретації інформації, отриманої під час радіологічних вимірювань компонентів навколишнього середовища.

Автором запропоновані підходи до просторового відображення результатів конкретних радіоекологічних моніторингових досліджень, які щорічно виконуються Інститутом геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України (ДУ «ІГНС НАН України»). На прикладі обробки фактичних даних, отриманих під час польових вишукувань різних років на території Ватутінського родовища урану показано метод ранжування рядів вимірних показників, в основу якого покладено урахування апаратурної похибки приладу при виконанні того чи іншого інструментального вимірювання.

Метод обробки інформації проілюстрований результатами побудови карт просторового розподілу вимірних показників щільності потоку радону (ЩПР) з ґрунту, отриманих під час останніх за часом польових робіт. На картах виділені поля розподілу «фонових» та аномально високих вимірних показників. Останні співпадають у просторі з місцем дислокації уранового родовища. Також простежується їх наявність у місцях залягання геологічних розломних структур та ймовірних зон розущільнення осадової товщі.

Наведені результати просторового відображення ЩПР в порівнянні з аналогічними результатами картування фактичних даних 2015-2017 років досліджень та результатами картування потужності еквівалентної дози

(ПЕД) гамма-випромінювання у навколишньому природному середовищі.

Отримані результати доводять, що описаний метод може бути застосований для надійного виділення аномальних зон забруднень досліджуваної території та їх просторового відображення. Картування аномальних зон може використовуватись при оцінюванні радіоекологічної ситуації на радіаційно забруднених територіях, зокрема – родовищах урану, а також як опосередкований пошуковий критерій дистанційних досліджень.

Також у статті наведена коротка геологічна характеристика Ватутінського родовища урану, представлена геологічна карта, план та розріз. **Ключові слова:** уран, родовище, радон, радіація, поля розподілу, картування.

**The method of spatial display of radiation distribution fields on the example of processing measurement results within the Vatutin uranium deposit. Tyshchenko Y.** The article is devoted to the optimization of the procedure of processing and interpretation of information obtained during radiological measurements of environmental components.

Thus, the article proposes approaches to the spatial representation of the results of specific radioecological monitoring studies, which are performed annually by the Institute of Geochemistry of the Environment of the National Academy of Sciences of Ukraine. On the example of the processing of the actual data obtained during field surveys of different years in the Vatutinka uranium deposit area, a method of ranking the series of

measured indicators is presented, which is based on taking into account the equipment error of an instrument when performing one or another instrumental measurement.

The method of information processing is illustrated by the results of constructing maps of the spatial allocation of measured radon flow density data from the soil obtained during the last fieldwork time. On the maps, the fields of allocation of «background» and abnormally high measured indicators are highlighted. The latter coincide in space with the location of the location of the uranium deposit. Also, their presence in the places of occurrence of geological fault structures and probable zones of decomposition of the sedimentary layer is traced.

The results of spatial mapping are compared with similar results of mapping the actual data of another year of research and mapping results of another indicator of radiological measurements - the power of an equivalent dose of gamma radiation in the environment.

The obtained results show that the described method can be used for reliable allocation of abnormal zones of pollution of the investigated area and their spatial mapping. The mapping of abnormal zones can be used in assessing the radioecological situation in radiation-polluted areas, in particular - uranium deposits, as well as the indirect search criterion for remote research.

Also in the article a brief geological description of the Vatutinka uranium deposit is given, its geological map, plan and section are presented. **Key words:** uranium, deposit, radon, radiation, allocation fields, mapping.

**Вступ.** Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» (ДУ «ІГНС НАНУ») протягом кількох років проводить щорічні польові моніторингові дослідження, які полягають у натурному і камеральному вимірюванні ряду радіаційних показників на територіях кількох родовищ урану в Україні. Такі роботи виконуються у рамках державних наукових тематик, результати яких відображені у наукових звітах та монографіях [1, 2], відомчих фундаментальних науково-дослідних тем «Металогенія урану, торію і супутніх елементів в геологічних структурах

України та вдосконалення методів пошуку і науковий супровід видобування», «Дослідження загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах ядерно-паливного циклу та розробка пропозицій щодо превентивних заходів безпеки» (2017-2021 рр.), «Фундаментальні проблеми фізики ядра, радіаційної безпеки, ядерного матеріалознавства та енергетики» і конкурсної прикладної наукової теми П-05-16 «Комплексна оцінка та геолого-економічне обґрунтування перспектив освоєння екзогенних родовищ урану осадового чохла Українського щита» (2016-2018 рр.) а також за цільовою комплексною програмою наукових досліджень НАН України «Наукове забезпечення розвитку ядерно-енергетичного комплексу та перспективних ядерних технологій» (етап 2 «Закономірності уранонакопичення та екзогенні родовища урану в осадовому чохлі Українського щита»).

Одним з важливих елементів таких досліджень є просторове відображення результатів методом комп'ютерного картування. У цьому аспекті необхідно розробити надійні, прості і зрозумілі критерії виділення просторових зон аномального забруднення (більш високого, порівняно з забрудненням прилеглих територій, умовно – «фоновим» забрудненням).

У статті висвітлюються деякі підходи до аналітичного опрацювання матеріалу на прикладі обробки результатів досліджень, проведених на території Ватутінського родовища урану.

Ендогенне Ватутінське родовище урану [3-5] відноситься до натрій-уранової формації, сферою розвитку якої є, крім Кіровоградської, також Звенигородсько-Братська структурно-металогенічна зона (СМЗ).

Ватутінське родовище було відкрите у 1970 році. Детальна розвідка була завершена у 1972 році, а з 1973 року родовище експлуатується Смолінським гірничовидобувним підприємством ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат».

В адміністративно-територіальному відношенні родовище знаходиться на відстані 2,5 км на південний захід від смт. Смоліне Мало-висківського району Кіровоградської області України, воно характеризується незначною глибиною залягання руд і високим ступенем

еродованості. Рудні поклади простежено від поверхні кристалічної підстави до глибини 850 м, хоча зони метасоматитів з позабалансовим зруденінням залягають глибше (понад 1200 м).

Особливості геологічної будови Ватутінського родовища урану зображено на рисунках 1-3 [1, 6].

Структуру родовища визначають Березівська брахіантикліналь і мережа порушень Звенигородсько-Ганівської тектонічної зони близькомеридіонального простягання, яка активно гілкується (рис. 2).

Родовище розташоване в лежачому боці Східно-Курніковського розлому, в ділянці перетину останнім горизонту тонкошаруватих мігматитів серед аляскітовидних і біотитових гранітів західного крила Березівської брахіантикліналі. Простягання порід субмеридіональне, падіння західне під кутами 40-80°. Розлом (простягання 310-320°, падіння на південний захід під кутом 70-80°) розтинає їх під гострим кутом. Виявлені рудні поклади об'єднуються натрієво-карбонатними метасоматитами по суті в єдину складно-побудовану зону (рис. 3).

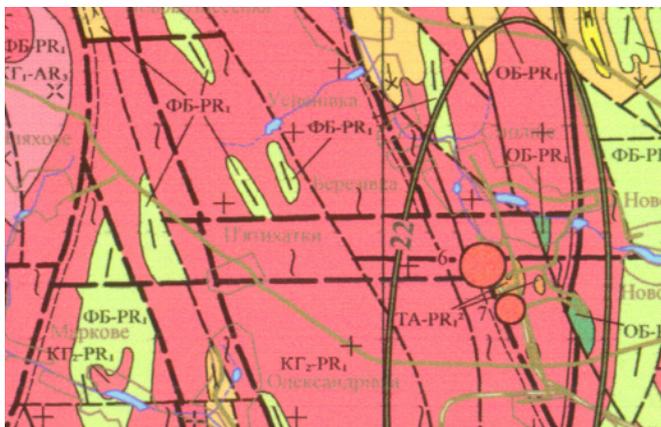


Рис. 1. Ватутінське родовище урану (6) та рудне поле (22) на «Карті уранового і торієвого зруденіння докембрійських утворень центральної частини Інгульського мегаблоку масштабу 1:200 000», КП «Кіровгеологія», 2018 [6].

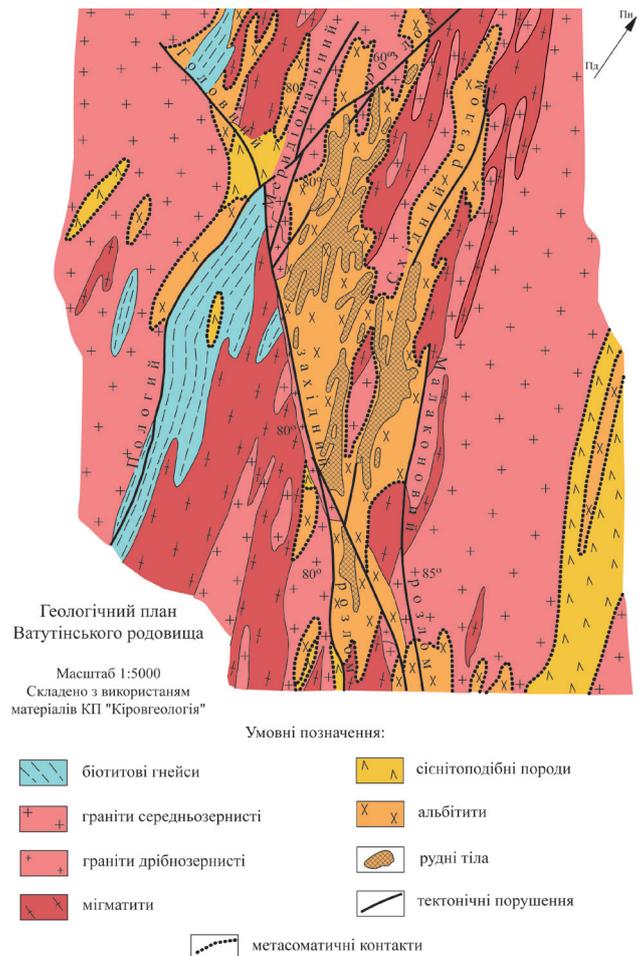


Рис. 2. Геологічний план Ватутінського родовища урану [1]

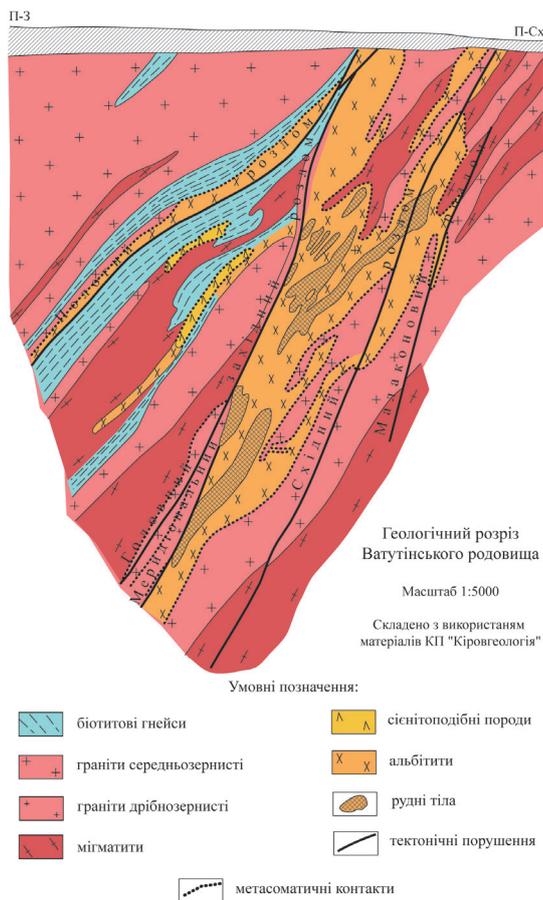


Рис. 3. Геологічний розріз Ватутінського родовища урану [1]

Ізотопний вік руд Ватутінського родовища урану за даними визначень U-Pb методом в середньому становить 1800 млн років [1].

Характерним для території, розташованої на масиві гірських порід гранітоїдного складу з підвищеним та високим кларковим вмістом розсіяних радіоактивних елементів уранторієвого ряду є підвищений радіоактивний фон. Відпрацювання запасів Ватутінського родовища урану обумовлює певне підвищення природної активності ґрунтів як на промисловому майданчику, так і в зонах впливу Смолінської шахти, яка здійснює відпрацювання цього родовища (м. Смоліне, Маловісківський район, Кіровоградська область). Крім цього, для шахтного видобування характерне утворення відходів у вигляді відвалів шахтних порід.

**Метою досліджень**, викладених у статті, є розробка методу просторового виділення аномальних зон радіаційних забруднень на територіях проведених радіоекологічних

вишукувань, які картуються з використанням сучасних програмних засобів.

**Виклад матеріалу досліджень.** Моніторингові радіологічні дослідження, що постійно проводяться ДУ «ІГНС НАН України», у тому числі на території Ватутінського родовища урану, включають контроль наступних радіаційних параметрів навколишнього природного середовища: дозиметричні – польові вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання (радіаційний фон); потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання; польові радіометричні вимірювання активності радону-222 – щільності потоку радону (ЩПР) з ґрунту; лабораторні радіометричні вимірювання питомої інтегральної гамма-активності проб ґрунту; лабораторні радіометричні вимірювання альфа- та бета активності проб ґрунту для визначення мас-еквівалентного вмісту та активності урану; лабораторні спектрометричні вимірювання радіонуклідів у пробах ґрунту. У комплекс польових робіт входять відбори проб ґрунтів (шпуровим методом до глибини 1 м) та природних вод (поверхневих і підземних), геопозиційна прив'язка пунктів опробування та пробовідбору. Словосполучення «пункт опробування» слід трактувати як географічну точку відбору проб та безпосереднього місця визначення показників не пов'язаних із застосуванням вимірювальних приладів стаціонарних лабораторій.

За результатами польових та лабораторних досліджень побудовані відповідні карти полів розподілу вимірюваних показників (з використанням програмних продуктів: ГІС-пакетів Mapinfo Professional 9.5 та ArcMap 10.3, а також програм Excel 2013 і Access 2007).

Одним з головних завдань досліджень є виділення зон аномально високих вимірюваних показників радіоактивності. Висвітлено метод такого виділення на прикладі опрацювання результатів вимірювання ЩПР на території Ватутінського родовища урану в 2018 році.

Слід зазначити, що активність радону (і щільність його потоку з ґрунту) у приповерхневих шарах повітря залежить від двох взаємопов'язаних факторів: концентрації радіоактивних елементів в близькозалегаючих гірських породах та



Для просторового відображення результатів досліджень виконується комп'ютерне картування на програмному комплексі ArcMap. Для коректного визначення полів розподілу «фонових» та аномальних показників насамперед, необхідно виявлення аномальних зон радіаційних забруднень на досліджуваній території. Отже, для побудови карт розподілу показників необхідно встановити градацію шкали граничних значень (визначити «позначки» шкали).

Як показано в таблиці 2 у ряді вимірювань присутні аномально високі результати, які виключаються при визначенні усереднених, «фонових», показників. Це показники, більш ніж у два рази перевищують середнє значення ряду, тобто 300 мБк/с м<sup>2</sup>. Таким чином, у ряді без аномальних показників визначене середнє значення ЩПР, яке складає 71 мБк/с м<sup>2</sup> (показник шкали №1). Максимальна апаратурна похибка вимірювання ЩПР сягає до 30%; для встановлення межі перевищення рівня «фону»

необхідно додати до середнього значення величину подвійної похибки; в результаті отриманий граничний показник 114 мБк/с м<sup>2</sup> (показник №2). Це показник шкали, який фіксує наявність перевищення «фону». Наступне граничне значення – максимальний показник ряду без аномальних значень - 201 мБк/с м<sup>2</sup> (показник №3). Позначка №4 встановлюється додаванням величини подвійної апаратурної похибки вимірювання до показника попередньої позначки; її значення 322 мБк/с м<sup>2</sup>. Наступний показник шкали – середнє значення аномальних показників – 552 мБк/с м<sup>2</sup> (показник №5). Останній показник №6 – верхня межа вимірювання приладу (1000 мБк/с м<sup>2</sup>), оскільки перевищення цієї межі було зафіксоване. Для зручності сприйняття значення показників округлені до десятків: для перших двох – у вищій бік, для трьох наступних – у нижчий.

На рисунку 4 показаний розподіл вимірюваних показників за величиною ЩПР за вищезгаданими позначками шкали.

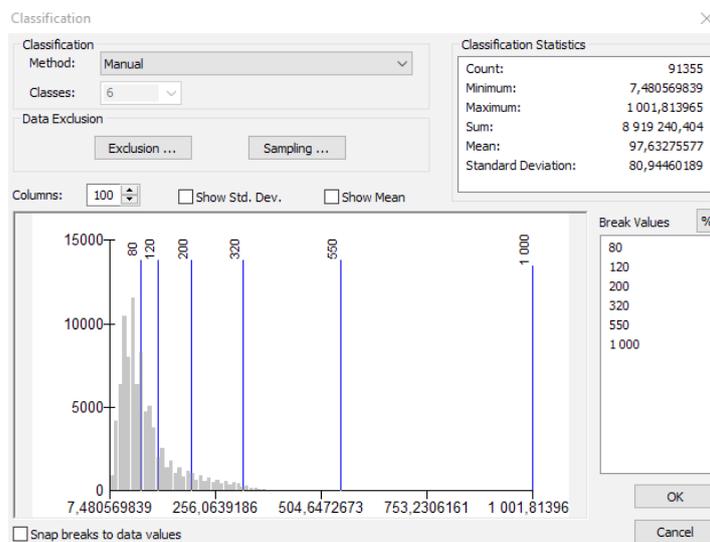


Рис. 4. Розподіл вимірів ЩПР за визначеними граничними показниками у меню ArcMap

На рисунку 5 зображено карту полів розподілу вимірних показників ЩПР.

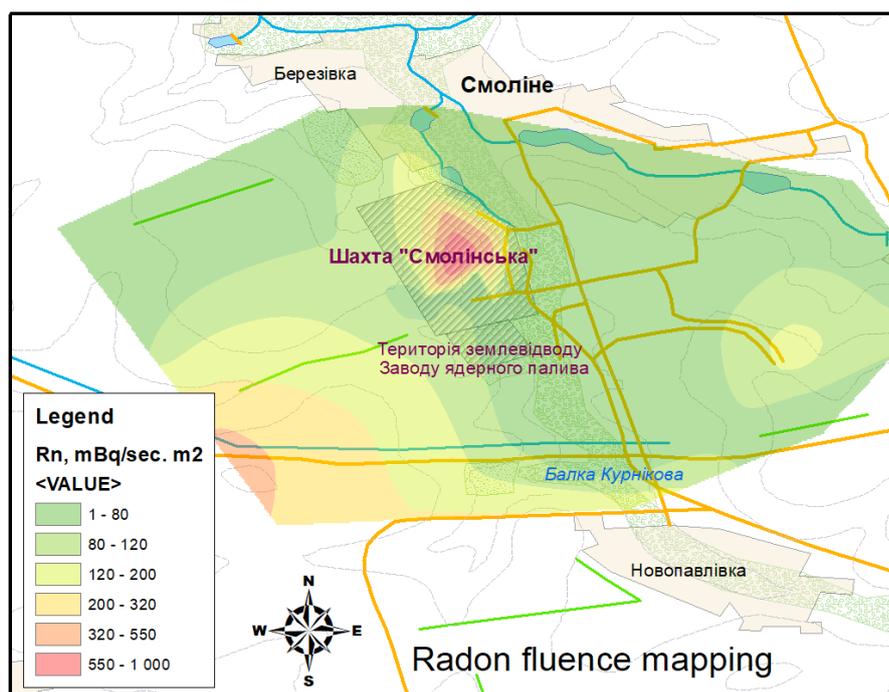


Рис. 5. Карта полів розподілу показників ЩПР, вимірних на території Ватутинського родовища урану у 2018 році

На карті темно-зеленим і зеленим кольором зображені поля розподілу «фонових» показників, світло-зеленим та жовтим – поля розподілу показників, перевищення яких над «фоном» підтверджене, рожевим і червоним – поля розподілу показників, які суттєво перевищують «фонові» значення.

Місце найбільшого перевищення «фону» знаходиться в центральній частині території

шахти «Смолінська», тобто безпосередньо над родовищем. Підвищені показники у південно-західній частині території досліджень, ймовірно пов'язані з розломними структурами, які пролягають під ними (рис. 1).

Для порівняння на рисунку 6 показана карта, побудована аналогічним методом за показниками, вимірними у 2017 році.

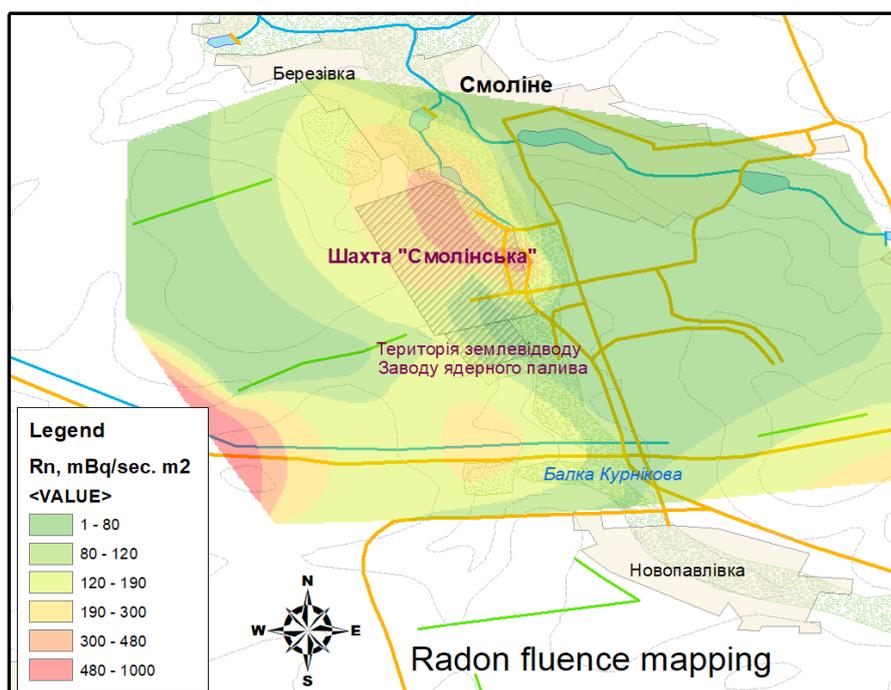


Рис. 6. Карта полів розподілу показників ЩПР, вимірних на території Ватутинського родовища урану у 2017 році

Отже, просторова конфігурація полів розподілу аномальних показників, виміряних у 2018 та 2017 роках, дуже схожа.

Нижче наведений приклад обробки результатів, отриманих для іншого показника – потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання, виміряної на висоті 1 м від поверхні ґрунту у 2017 та 2018 роках. (рис. 7, 8).

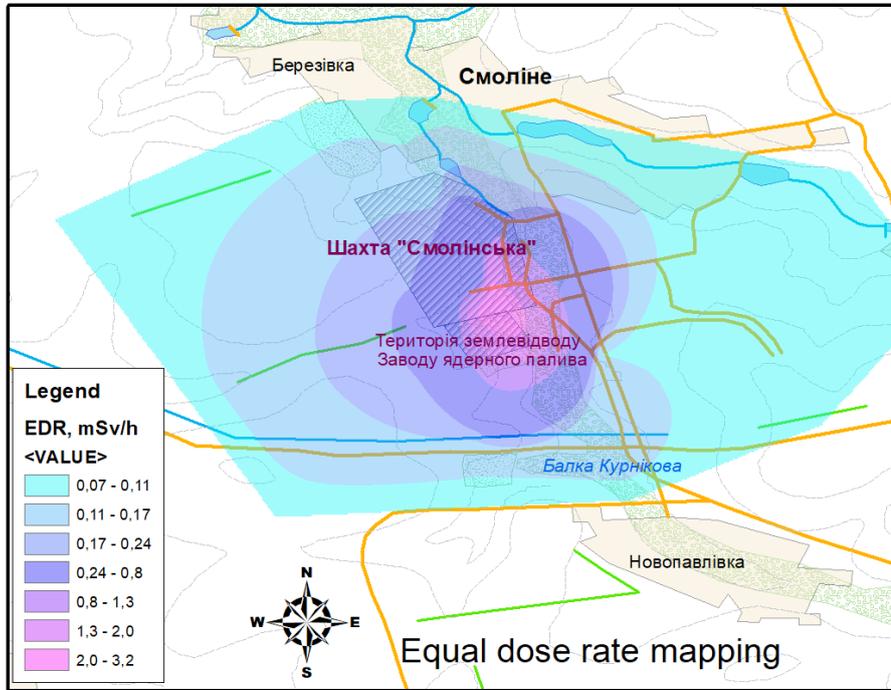


Рис. 7. Карта полів розподілу показників ПЕД, виміряних на території Ватутінського родовища урану у 2018 році

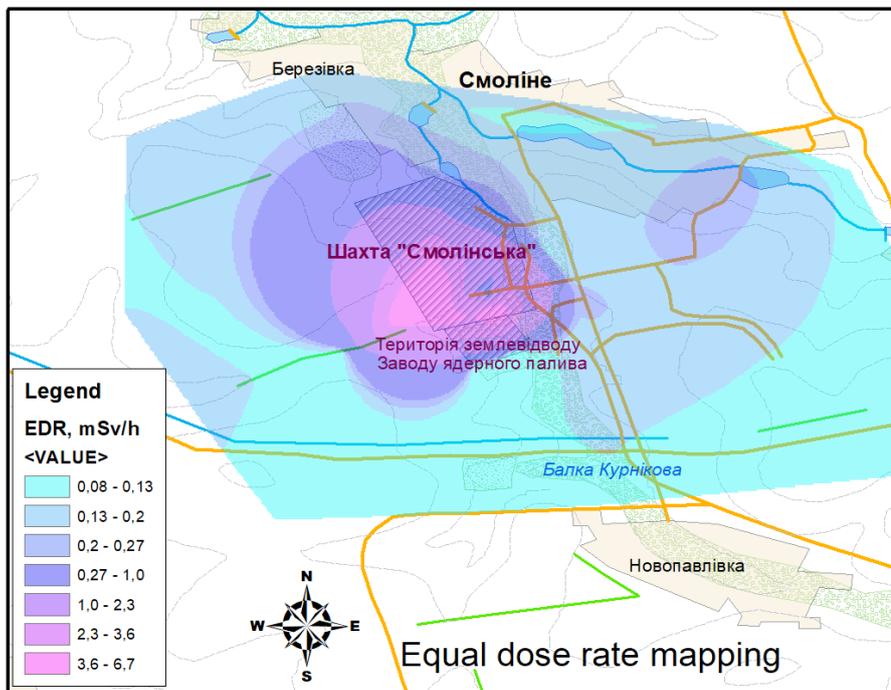


Рис. 8. Карта полів розподілу показників ПЕД, виміряних на території Ватутінського родовища урану у 2017 році

На рисунках 7 та 8 бузковим кольором показані поля розподілу ПЕД, показники яких надійно перевищують «фонові», а рожевим – значно перевищують.

Характер розподілу аномальних показників ПЕД фіксує значне забруднення території шахти та прилеглих земель, що вказує на опосередкований (техногенний) вплив на формування дози діяльності підприємства.

Аналіз інших радіаційних показників на території Ватутінського родовища урану, виміряних під час польових та камеральних робіт, також підтверджує можливість визначення аномальних зон полів розподілу підвищеного забруднення які картуються.

**Висновок.** Описаний метод дозволяє визначати аномальні зони розподілу радіаційних показників на території дослідження та показати їх просторове поширення шляхом комп'ютерного картування. Отримані результати можуть бути використані як для характеристики радіоекологічної ситуації, так і для пошукового критерію, як під час проведення вишукувань на територіях родовищ урану, так і на будь-яких інших територіях, де проводяться радіоекологічні вишукування.

Також цей метод дозволяє отримувати відповідну інформацію, яку можна використовувати в системі управління екологічної безпеки родовищ урану та прилеглих до них територій.

## Література

1. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / Відп. ред. Верховцев В.Г., Лисиченко Г.В. – Київ: Наук. Думка, 2014. – 355 с.
2. Перспективи розвитку торієвої сировинної бази ядерної енергетики України / Відп. ред. Верховцев В.Г., Ярошук М.А. – Київ: Наук. Думка, 2017. – 269 с.
3. Белевцев Я.Н., Бакаржиев А.Х., Коваль В.Б. и др. Урановые месторождения Украины // Геологический журнал № 5. 1992. С. 28-44.

4. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б. - Киев: Наук. думка. 1995. 397 с.
5. Смолин Н.В. Ватутинское месторождение урана на Украинском щите. Отчет о разведке с подсчетом запасов по состоянию на 15.02.1973 г. Киев, 1973 г. Фонды КП «Кировгеология»; Инв. №№ 9102 - 9114, зп-960 - зп-969.
6. Михайліченко О.М. та ін. Складання карти уранового і торієвого зруденіння Українського щита масштабу 1:500 000. Звіт про регіональне геологічне вивчення території України. КП «Кировгеология»; УДК 55 3.078:528.94:553.495:553.493.68 (477). Київ, 2018. 154 с.

## References

1. Perspektyvy rozvytku uranovoji syrovynnoji bazy jadernoji energetyky Ukrainy / Vidp. Red. Verkhovtzev V.G. and Lysychenko G.V. (2014), Nauk. Dumka, Kyiv, UA, 355 p.
2. Perspektyvy rozvytku torijevoji syrovynnoji bazy jadernoji energetyky Ukrainy / Vidp. Red. Verkhovtzev V.G. and Jaroshchuk M.A. (2016), Nauk. Dumka, Kyiv, UA, 335 p.
3. Bielivtzev, J.N., Bakarjiev, A.Ch., Koval', V.B. (1992) Uranovyje miestorojdenija Ukrainy, Geol. Zhurn, N 5, pp. 28 – 44.
4. Geneticheskiye tipy i zakonomernosti razmieshchenija uranovyh miestorozhdenij Ukrainy / Otv. Red. Bielivtzev, J.N., Koval', V.B. (1995), Nauk. Dumka, Kyiv, UA, 397 p.
5. Smolin, N.V. (1973), Vatutinskoje miestorojdenije urana na Ukrainskom shchitje. Otchet o razviedkie s podschiotom zapasov po sostoianiu 15.02.1973 g. Fondy KP "Kirovgeologja"; Inv. NN 9102 - 9114, zp-960 - zp-969.
6. Mychajlichenko O.M. (2018) Skladannia karty uranovogo I torijevogo zrudenninny Ukrainy. Zvit pro regionalne geologichne vyvchennia terytoriji Ukrainy. KP "Kirovgeologja"; UDK 553.078:528.94:553.495:553.493.68 (477). Kyiv, 154 p.

УДК 621.039:754.716

## ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ГЛИНИСТИХ ПОРІД ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ НА КОМПЛЕКСІ «ВЕКТОР»

Ольховик Ю.О., Шабалін Б.Г.

Державна установа

«Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,  
просп. Академіка Палладіна, 34а, 03142, м. Київ  
yolkhovyk@ukr.net; b\_shabalin@ukr.net

Розглянуто властивості глинистих порід, що забезпечують ізоляцію захоронених у сховищах радіоактивних відходів від впливу атмосферних опадів і підземних вод. Доведено, що найбільш придатним матеріалом для забезпечення довгострокової ізоляції радіонуклідів у поверхневих і приповерхневих сховищах у складі інженерних бар'єрів визначено бентонітову глину. Висвітлена недостатня ефективність інженерного бар'єру із місцевої бурої глини з низьким вмістом монтморилоніту при спорудженні сховищ у зоні відчуження. Оптимальним рішенням може бути створення ізолюючих бар'єрів сховищ із застосуванням глинистої породи верхніх шарів Черкаського родовища. **Ключові слова:** радіонукліди, захоронення, ізолюючий бар'єр, бентонітова глина.

**Regarding the application of clay rocks to provide isolation of the radioactive waste within the complex «Vector».** Olkhovik Yu., Shabalin B. The article describes the properties of clay rocks, which ensure isolation of the radioactive waste burial from the influence of atmospheric precipitation and groundwater. Bentonite clay has been deemed to be the most suitable material for securing long-term radionuclide isolation in surface and near-surface repositories. The article emphasizes that barrier made from local brown clay does not contain enough montmorillonite and therefore is not effective enough to use for constructing repositories in the exclusion zone. An optimal solution may be creating insulating barriers for repositories using the clay rocks from the upper layers of the Cherkasy deposit. **Key words:** radionuclides, burial, insulating barrier, bentonite clay.

**Вступ.** Глинисті породи відіграють важливу роль для забезпечення ізоляції при довгостроковому зберіганні й захороненні радіоактивних відходів (РАВ) і здебільше, використовуються як один із компонентів системи інженерних бар'єрів для запобігання міграції радіонуклідів за рахунок високих сорбційних та низьких фільтраційних властивостей, притаманних саме цим породам. Також можливе застосування глини при поводженні з РАВ як компонент матричного матеріалу при переробленні рідких РАВ [1], а модифікованих видів глини для ефективного засобу поглинання вологи в упаковках з РАВ [2].

Домінуючим геологічним чинником, здатним забезпечити переміщення радіонуклідів із сховища в довкілля, є водне середовище. Тому основними властивостями, завдяки яким вискодисперсні глинисті породи використовуються у світовій практиці для забезпечення ізоляції РАВ є, насамперед, низька водопроникність (фільтраційна здатність), пластичність, високі сорбційні властивості та здатність до набухання при контакті з водою. Ці властивості сприяють недопущенню (або суттєвого обмеження) контакту ґрунтових та підземних вод із ізольованими РАВ, створює умову для масообміну в системі «матриця РАВ – інженерний бар'єр – ґрунтові (підземні) води» виключно за дифузійним механізмом, перешкоджає розповсюдженню радіонуклідів у разі втрати герметичності упаковки РАВ, за рахунок ефективно сорбції, мінімізує шляхи міграції радіонуклідів у геологічному середовищі шляхом закриття тріщин у породах внаслідок високої здатності глини до пластичності та набухання.

Глинистими називають породи, у яких сумарний склад частинок менший 0,005 мм, а вміст шаруватих силікатів становить не менше 50% [3]. Ці породи, зазвичай, є сумішшю різних за складом та структурою мінералів, з чим пов'язані широкі варіації їх хімічного складу та фізико-хімічні властивості. До глинистих мінералів віднесено зокрема, групу шаруватих водних алюмосилікатів (група монтморилоніту або група смектитів) кристалічна будова яких має тривимірну структуру, що утворена наявністю двох типів шарів – кремнієкисневих тетраедрів і алюмокисневих октаедрів у співвідношенні 2:1. Зв'язок між сусідніми пакетами (сукупність двох та більше шарів) дуже слабкий і забезпечується міжшаровими катіонами ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ), які активно вступають у обмін з катіонами (у т.ч. радіонуклідами), що знаходяться у розчині, та визначають високу сорбційну здатність смектитових мінералів, в першу чергу, монтморилоніту – найбільш розповсюдженого мінералу групи смектитів.

Всі специфічні властивості смектитових мінералів (монтморилоніту) – висока дисперсність, особливості гідратації і набухання, спроможність до катіонного обміну і адсорбції (зокрема, радіонуклідів) – мають своєю першопричиною особливу кристалохімію мінералів.

Сорбційну здатність, зазвичай характеризують коефіцієнтом розподілу  $K_d$ , що являє собою відношення рівноважних концентрацій сорбату у твердій фазі та у розчині.

З коефіцієнтом розподілу  $K_d$  пов'язаний фактор затримки  $R$ , що визначає величину відставання поширення речовини, що сорбується, від поширення рідкої фази:

$$R = 1 + K_d \cdot \left( \frac{\text{щільність породи}}{\text{пористість породи}} \right) = \left( \frac{\text{швидкість руху підземних вод}}{\text{швидкість руху радіонуклідів}} \right)$$

Зазначені коефіцієнти є основними параметрами, які отримують експериментально, для визначення бар'єрних властивостей ґрунтів і гірських порід в розрахункових формулах і моделях міграції радіонуклідів [4].

Важливою особливістю смектитових мінералів є їхня взаємодія з водою. Молекули води можуть проникати між шарами і частинками мінералу, що призводить до зміни

відстані між шарами у структурі мінералу і тим самим до збільшення об'єму глинистої породи (набухання).

За загальноприйнятою термінологією водонепроникність – властивість гірських порід не пропускати через себе вільну воду при напірних градієнтах, існуючих у природі. Глинисті породи мають різні коефіцієнти фільтрації – ущільнені суглинки або мергелеві глини –  $10^{-2}$  або максимум  $10^{-3}$  м/добу, для бентонітових глин цей показник складає  $10^{-5}$  м/добу і менше [5], тобто вони є водонепроникними глинистими породами.

**Мета роботи.** Аналіз літературних даних для визначення перспектив застосування глинистих порід родовищ України для забезпечення ізоляції радіоактивних відходів на комплексі «Вектор».

**Основний зміст.** Загальновідомі властивості глини постали підґрунтям для застосування місцевої глинистої породи при спорудженні траншейного сховища «Буряківка». Таке саме рішення пропонується, з огляду на вартість, для приповерхневих сховищ РАВ на майданчику «Вектор». Траншеї «Буряківки» вистелено глинистим шаром товщиною 1 метр та перекрито верхнім гідроізолюючим шаром із ущільненої місцевої глини товщиною 0,5 м.

В проекті приповерхневих сховищ на майданчику комплексу «Вектор» передбачено нижній штучний (підстилаючий) бар'єр під фундаментною плитою, що включає ущільнену глину невідомого (невизначеного) походження товщиною 0,5 м і верхній шар (обваловочний) при закритті сховищ із гідроізолюючих ґрунтових і штучних матеріалів та ущільнену глину товщиною 1 м невідомого походження [6].

Такі технічні рішення, на думку авторів статті, не спроможні забезпечити довгострокове зберігання та захоронення РАВ в умовах впливу деяких чинників навколишнього середовища.

Згадані ізолюючі бар'єри повинні виконувати різні функції – якщо верхній шар використовується як екран (ізолює сховище РАВ від проникнення атмосферних опадів після закриття сховища) та нижній (підстилаючий) обмежує (при експлуатації та нештатних ситуаціях, після закриття сховища) міграцію радіонуклідів внаслідок сорбції, що визначається

насамперед, наявністю монтморилоніту або інших смектитових мінералів. При будівництві за короткі строки сховищ РАВ Чорнобильського походження була використана місцева глиниста порода Чистогалівського родовища, що відноситься до товщі суглинків, червоно-бурих і бурих строкатих глин четвертинного віку. За результатами геологорозвідувальних робіт у 1988 р. потужність шару глин очікується у середньому 6,0 м (запаси категорії С) оцінюються приблизно 1086 тис. м<sup>3</sup> (за ресурсними запасами глини це мале родовище). Будь-яка оцінка ізолюючих властивостей глини зазначеного родовища щодо міграції радіонуклідів в загальнодоступних літературних джерелах відсутня.

Хімічний та мінеральний склад піщано-глинистих порід Чистогалівського родовища наведено в таблицях 1,2 [7].

З огляду на однотипні умови утворення родовищ для спорідненого аналогу розглянемо Чорнобильське родовище, що було розвідане у 1954 році [8]. Родовище складається із верхнього шару суглинків потужністю від 3,3 до 6,6 м і шару бурих глин потужністю від 1 до 2,9 м. Для останніх встановлені значення числа пластичності становлять від 9 до 15, що характерно для суглинків і є показником низької якості глин.

Таблиця 1

**Хімічний склад порід Чистогалівського родовища**

Компоненти	Вміст, % мас.			
	Ч-1	Ч-2	Ч-3	Ч-4
SiO <sub>2</sub>	78,75	77,08	69,49	81,44
TiO <sub>2</sub>	0,45	0,58	0,76	0,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,64	9,07	9,48	7,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	2,31	2,07	1,90
FeO	0,64	1,07	1,15	0,65
MnO	0,04	0,05	0,04	0,04
MgO	1,10	0,95	1,73	0,95
CaO	0,78	0,67	3,70	0,78
Na <sub>2</sub> O	1,10	0,70	0,55	0,85
K <sub>2</sub> O	2,40	1,95	1,80	2,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,06	0,09	0,09
CO <sub>2</sub>	0,24	0,13	2,11	0,24
H <sub>2</sub> O	0,74	1,96	2,40	0,84
ВПП	1,94	3,16	6,34	2,05
S <sub>загал</sub>	0,04	0,03	0,03	0,03
Σ	99,82	99,64	99,63	99,53

*Примітка.* Проби: Ч-1, Ч-2, Ч-4 – суглинок бурий, Ч-3 – глина плямиста (блакитно-сіра з бурими плямами).

Таблиця 2

**Мінеральний склад порід Чистогалівського родовища за даними рентгено-фазового аналізу (РФА), мас. %**

Проба	Кварц	Польові шпати	Кальцит	Глинисті мінерали
Ч-1	59,1	4,3	< 1	Мнт, іліт < 20%
Ч-2	58,6	5,1	< 1	Мнт, іліт > 20%
Ч-3	47,9	2,9	5	Мнт, іліт > 20%
Ч-4	61,6	19,7	< 1	Мнт, іліт > 20%

*Примітка.* Мнт. – монтморилоніт.

Результати аналізу таблиць свідчать, що флювіогляціальні чистогалівської породи вміщують значну кількість ненабухаючих (баластних) мінералів, вони мають помірний вміст глинистих мінералів та значний вміст кварцу (піску). Застосовані у обґрунтуванні безпеки сховищ коефіцієнти фільтрації для цих порід становлять  $2E-2$  –  $6E-3$  м/добу, що набагато більше, ніж значення, характерні для бентонітових глин. Загалом, за означеними параметрами можна зробити висновок щодо низької ефективності глин Чистогалівського родовища у разі їх застосування як інженерного

бар'єру сховищ для захоронення РАВ з огляду як на підвищену фільтраційну здатність, так і на відносно незначний вміст глинистих мінералів, що обумовлює сорбцію радіонуклідів. На підтвердження такого висновку слугують дані моніторингу підземних вод на майданчику «Буряківка», де, незважаючи на фільтруючий глиняний екран з місцевих глин товщиною 1 метр, у свердловинах на периметрі траншей фіксуються високі значення активності радіостронцію у підземній воді четвертинного водоносного горизонту (рис.1) [10].

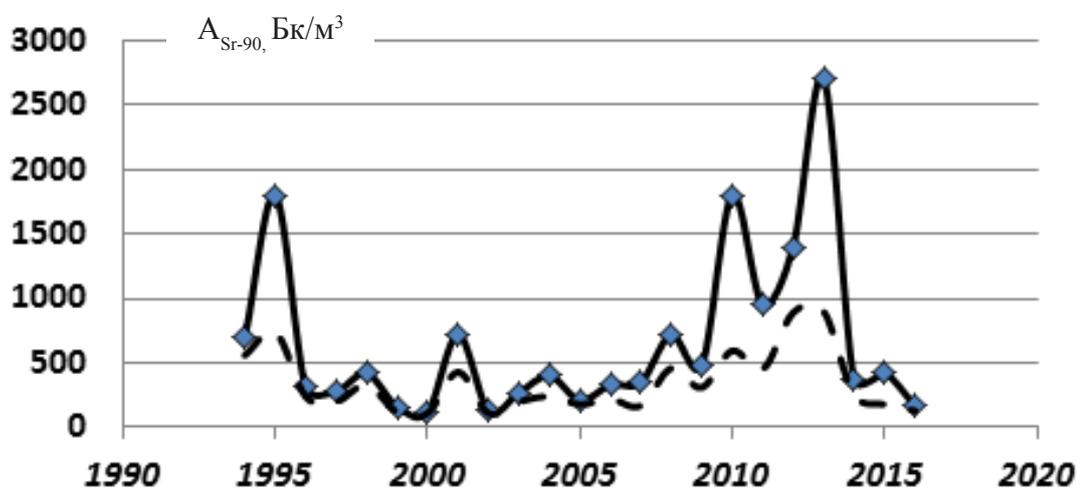


Рис.1. Радіонуклідне забруднення води четвертинного водоносного горизонту на майданчику ПЗРВ «Буряківка». Свердловина № 5.

**Примітка.** Суцільна лінія – максимальні значення, переривчаста лінія – середньорічні значення.

Цей негативний досвід свідчить на необхідність використання при подальшому будівництві сховищ 1 і 2 черги комплексу «Вектор», високоякісних глин, здатних забезпечити ефективну ізоляцію сховищ РАВ як від впливу атмосферних опадів протягом часу для досягнення відходами безпечного рівня активності, а також звести до мінімуму міграцію радіонуклідів з РАВ в довкілля. Слід врахувати наявні запаси розвіданих в Україні родовищ бентонітових глин, організаційні та економічні аспекти їх транспортування у Чорнобильську зону відчуження.

Відповідно до проекту перша черга комплексу «Вектор» складається із 16 сховищ типу ТРВ-1, 40 сховищ типу ТРВ-2 і спеціального приповерхневого сховища твердих РАВ (Лот 3). З даних, що зазначені у проектній документації

розмірів відповідних сховищ, оцінено кількість бентонітової глини, необхідної для створення захисних інженерних бар'єрів у вигляді ізолюючих шарів товщиною 1 метр. Загальна кількість бентонітової глини, необхідної для створення верхнього гідроізолюючого шару, який перешкоджає проникненню атмосферних опадів у тіло сховища, становить близько 900 тис. м<sup>3</sup>. Нижній шар повинен забезпечити ефективну сорбцію радіонуклідів, які можуть потрапити із упаковок РАВ, розміщених у сховищах, в довкілля. Тому, видається доцільним створення нижнього фільтруючого шару із гомогенізованої суміші місцевого мілкозернистого кварцу (наприклад, з Чистогалівського родовища) і бентонітової глини, який би забезпечив ефективну сорбцію радіонуклідів із розчинів, що просочуються крізь нього. Крім того, такий захисний шар унеможливить утворення ефекту «переповненої ванни» у разі, коли низька швидкість фільтрації у нижньому шарі призведе до утворення всередині

сховища надлишку забрудненої води, яка почне потрапляти в довкілля повз захисний шар глини. Оскільки оптимальне співвідношення суміші ще не визначено, в подальших розрахунках авторами використано співвідношення 4:1 мілкозернистого піску та бентонітової глини. У цьому випадку для створення нижнього захисного шару потрібно близько 100 тис. м<sup>3</sup> бентонітової глини.

Найближчим часом в Україні очікується прийняття законодавчих і нормативних документів щодо введення нової класифікації радіоактивних відходів, включно із появою категорії «дуже низькоактивні відходи» (ДНАВ) [11]. Радіоактивні відходи класу ДНАВ відповідно до класифікації МАГАТЕ можуть бути безпечно захоронені у поверхневих сховищах типу звалищ побутових відходів.

Поверхнєве захоронення ДНАВ у сховищах, схожих на сховища траншейного або курганного типів для побутових відходів, припускає більш низьку питому і загальну активність таких відходів порівняно зі сховищами для середньо- і низько активних РАВ. При цьому, основну частину активності ДНАВ складають короткоіснуючі радіонукліди. Тому вимоги до ізоляції таких відходів менш жорсткі, ніж для РАВ, які розміщують у приповерхневих сховищах. Основною проектною особливістю сховищ ДНАВ є вимога ізоляції відходів від контакту із водою. Такі захисні заходи можуть бути єдиним інженерним бар'єром, достатнім для безпеки захоронення. Для ізоляції ДНАВ, період потенціальної небезпеки яких не перевищує 50-100 років, використовують спрощені конструкції сховищ у вигляді траншей або наземних курганів (рис. 2, 3). Безпека таких споруд забезпечується головним чином багат шаровими перекриваючими і підстеляючими екранами.

Оскільки майданчик комплексу «Вектор», визначений в Україні як єдиний об'єкт для спорудження національних сховищ для захоронення НСАВ, логічно вважати, що сховища для ДНАВ також будуть розміщені на цій території. Фахівцями міжнародного консорціуму в рамках надання Україні технічної допомоги підготовлено звіт за проектом INSC – U4.01/08-C «Удосконалення системи класифікації радіоактивних відходів в Україні»,

в якому виконано оцінку вірогідних обсягів ДНАВ, що підлягають захороненню. Загальна кількість таких відходів становить близько 1400 тис. м<sup>3</sup>, з яких 94% мають «Чорнобильське» походження. Якщо для захоронення ДНАВ застосувати технічні рішення про розміщення у траншеях, аналогічних на майданчику сховища «Буряківка», то при середній місткості траншеї 30 тис. м<sup>3</sup> твердих РАВ їх знадобиться близько 45-50. Для їх перекриття шаром 1 м знадобиться близько 450 тис. м<sup>3</sup> бентонітової глини та 70 тис. м<sup>3</sup> глини у складі підстеляючого фільтруючого шару.



*Рис. 2. Технологія захоронення ДНАВ на майданчику АЕС Oskarhamn (Швеція) в процесі створення перекриваючого екрану [12]*



*Рис.3. Загальний вигляд однієї із траншей сховища ДНАВ в сховищі El Cabril [13]*

Такі значні обсяги глиняної породи місцеві родовища, що розташовані у Чорнобильській зоні відчуження, забезпечити неспроможні. Наприклад, затверджені запаси бурої глини Чорнобильського родовища категорії А і В

складають сумарно лише 57 тис. м<sup>3</sup> [7], а оцінка запасів Чистогалівського родовища носить орієнтовний характер і не враховує характерних для моренних відкладів перекриття бурих строкатих глин потужним шаром суглинків.

Таким чином, низькі ізолюючі властивості місцевих бурих глин разом із їх обмеженим запасом призводять до висновку щодо необхідності створення сховищ для захоронення РАВ бентонітових глин великих вітчизняних родовищ, зокрема Черкаського родовища, яке вважається найбільшим у Європі. Черкаське родовище має затверджені балансові запаси 108,1 млн т [14] і може бути використано довготривалим джерелом постачання бентонітової глини для створення захисних інженерних бар'єрів поверхневих і приповерхневих сховищ РАВ України. Бентонітова глина 2-го продуктивного горизонту Дашуківського родовища (переважаюча фракція 0,001 мм, 83,1%) за усередненими результатами силікатного хімічного аналізу і даних рентгенофазового аналізу (РФА) [15] складається з монтморилоніту (мас. %) (70-75), кварцу (15-20) кальциту (3-5), польових шпатів (3-5), каолініту (2-3), слюди (2-3), анатазу (1-3). Такий мінеральний склад бентонітової глини і сумарна обмінна ємність 75-80 мг-екв/100 г сухої глини внаслідок високого вмісту монтморилоніту за умов виконання якісного її ущільнення під час створення ізолюючих шарів сховищ для захоронення ДНАВ спроможний забезпечити низьку водопроникність, мінімізувати надходження атмосферних опадів у сховище і створити умови для запобігання міграції радіонуклідів у довкілля протягом тривалого часу, достатнього для розпаду короткоіснуючих радіонуклідів (до 300 років).

Результати останніх експериментальних досліджень кінетики сорбції/десорбції <sup>90</sup>Sr і <sup>137</sup>Cs природними бентонітовими глинами П-го шару Дашуківського родовища (Черкаська обл.) та комп'ютерного моделювання взаємодії розчинів, що містять радіонукліди, з природними сорбентами [16] засвідчили, що бентонітові глини цього родовища за своїми властивостями є перспективною сировиною для створення захисних екранів поверхневих і приповерхневих сховищ РАВ. Висока сорбційна спроможність бентонітової глини Дашуківського

родовища забезпечить максимальну фіксацію радіонуклідів у лужному та високолужному середовищі, якими є порові розчини і ґрунтові води при руйнуванні цементної матриці РАВ і деструкції бетонних конструкцій сховища. Останнє набуває особливо важливого значення з огляду на зафіксоване на майданчику об'єкта «Укриття» явище підвищення міграційної здатності і концентрацій <sup>90</sup>Sr через зростання рН водного середовища внаслідок деградації бетону [17].

**Висновки.** Бар'єрні властивості бентонітових глин в контексті забезпечення захоронення РАВ у поверхневих і приповерхневих сховищах повинні розглядатися як пріоритетний напрям прикладної науково-практичної діяльності у Чорнобильській зоні відчуження. Зважаючи на те, що Дашуківське родовище бентонітових глин є найбільшим в Україні та має велику потужність бентонітового шару з можливістю видобутку глини відкритим (кар'єрним) способом, розвинути інфраструктуру і територіально наближено до Чорнобильської зони відчуження, його можна вважати найбільш перспективним для подальшого вивчення та оцінки придатності бентонітів, як захисних інженерних бар'єрів, що входять у систему забезпечення безпеки захоронення РАВ.

Зважаючи на розрізненість даних хімічного аналізу бентонітових порід України, їхнього мінерального складу та властивостей, у майбутньому необхідно передбачити детальне вивчення потенційних джерел бентонітової сировини та запланувати розширені експериментальні дослідження з метою прогнозування довгострокової стабільності ізолюючих властивостей бентонітових глин, а також виробів і матеріалів з них в умовах захоронення РАВ різної активності [15].

## Література

1. Хромовских Е.В. Жидкие радиоактивные отходы – в цемент /Е.В. Хромовских, Б.С. Зиннуров // Ярмарка инновационных проектов в области обращения с РАО, вывода из эксплуатации и экологической реабилитации. Материалы конференции. – Москва. АТОМЭКО, 2007. – С. 129–132.

2. Ольховик Ю.О. Щодо захоронення сольових радіоактивних відходів АЕС в Чорнобильській зоні відчуження / Ю. О. Ольховик, Ю. Г. Федоренко, А.М. Розко. // Ядерна енергетика та довкілля. – 2016. – №2. – С. 64–67.
3. Шванов В. Н. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. / В. Н. Шванов, В. Т. Фролов, Э. И. Сергеева // СПб.: Недра. – 1998. – 352 с.
4. Concepts and Examples of Safety Analyses for Radioactive Waste Repositories in Continental Geological Formations: IAEA Safety Ser. N 58. 1983.
5. Гольдберг В.М. Проницаемость и фильтрация в глинах / В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов// – М.: Недра, 1986. – 160 с.
6. Отчет об инженерно-геологических условиях площадок зданий и сооружений комплекса «Вектор». Книга 1, книга 2. – К.: Концерн «Укратомэнергопром». КИЭ, – 1992. – 112 с.
7. Синицин В.О. Розрахунок рівноважного мінерального складу піщано-глинистих порід методом мінімізації вільної енергії Гіббса /В.О.Синицин, І.Л. Калябіна, С.П. Савенок, Б.І. Самчук // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: „Гірничо-геологічна”. Випуск 111. Том 1.– Донецьк.: ДонНТУ, 2006. – С.104 – 113.
8. Строительные материалы Киевской области (минерально-сырьевая база). Киев: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре УССР, 1963. – 218 с.
9. Design, production and initial state of the buffer. SKB 2010. Svensk Kärnbränslehantering AB. Technical Report, TR-10-15.–2010. – 89 p. – Режим доступу: <http://www.skb.com/publication/2151517/TR-10-15.pdf>.
10. Лист ДСП ЦППРО від 28.11.2017 №116/1482.
11. Постанова Верховної Ради України «Про прийняття за основу проекту Закону України про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення законодавства з питань поводження з радіоактивними відходами» від 17 квітня 2018 року № 2402.
12. Шведская система обращения с РАО и ОЯТ: обзор / Рыбальченко И. Л. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург. – 2008. – 85 с.
13. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Sixth Spanish National Report. October 2017. – 213 p.
14. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том 2. Неметалічні корисні копалини / Наук. ред. М.П.Щербак, С.В.Гошовський. – К: Центр Європи. 2006. – 552 с.
15. Шабалін Б.Г. Перспективи використання природних смектинових глин України для створення геологічного сховища радіоактивних відходів / Б.Г. Шабалін, О.М. Лавриненко, П.О. Косоруков, С.П. Бугера // Мінералогічний журнал. – 2018. –№ 4. – С. 65-78.
16. Калябіна І. Мінеральні сорбенти для захисного шару при поверхневих сховищах радіоактивних відходів// І. Калябіна, А. Субботін, К. Деревська, В. Шумлянській. – К.: Логос, 2011. – 208 с.
17. Панасюк М. І. Рівні радіоактивного забруднення підземних вод промайданчика ЧАЕС та засоби обмеження його розповсюдження / М. І. Панасюк, Д. Т. Матросов, Є. І. Петросенко, Г. В. Левін, П. А. Люшня, М. О. Сізов, Л. А. Паламар, І. П. Онищенко // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2018. – вип. 30. – С. 87-92.

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ ЩО МІСТЯТЬ ТРИТІЙ

Полякова І. О.

LLC «TechnoChemAtom»

вул. Ю. Шумського, 5, 02098, м. Київ

polyakova\_ira@ukr.net

Розглянуто деякі питання поводження з радіоактивними відходами, що містять тритій та сучасний стан їх зберігання. Показано необхідність моніторингу місць тимчасового зберігання небезпечних радіоактивних відходів для запобігання поширення радіоактивних елементів у довкілля. Проведено аналіз сучасного стану сховищ зберігання радіоактивних відходів на спеціалізованих підприємствах Державної корпорації «Українське державне об'єднання «Радон» (ДК «УкрДО «Радон»)). **Ключові слова:** поводження з радіоактивними відходами, тритій, моніторинг, довкілля, сховища радіоактивних відходів, свердловина спостереження, екологічна безпека.

### **Ways to ensure environmental safety while handling radioactive waste containing tritium.**

**Poliakova I.** The article discusses matters of managing radioactive waste containing tritium as well as the current way of storing it. It showcases the necessity to monitor the storage sites of hazardous radioactive waste in order to prevent dissemination of radioactive elements into the environment. Analysis of the current state of storage facilities for radioactive waste at the specialized enterprises of the State Corporation "Ukrainian State Association "Radon" is conducted. **Key words:** radioactive waste handling, tritium, monitoring, environment, radioactive waste storages, monitoring wells, environmental safety.

### **Постановка проблеми та мета роботи.**

Основні напрями та завдання щодо подальшого розвитку в Україні системи поводження з радіоактивними відходами (РАВ) визначені у «Стратегії поводження з радіоактивними відходами», затвердженим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19.08.2009 р.

№ 990-р, яка розрахована на 50 років. Стратегія була розроблена за підтримки Європейської Комісії на виконання Плану дій «Україна – ЄС» на підставі аналізу стану системи поводження з РАВ в країні, з врахуванням кращої міжнародної практики, а також стандартів з безпеки МАГАТЕ та Європейського Союзу. Реалізація конкретних завдань здійснюється відповідно до затвердженої Законом України від 17.09.2008 № 516-VI «Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з РАВ» [1].

Однією з основних задач державної політики в зазначеній сфері є скорочення строків тимчасового зберігання відходів у місцях їх утворення (виробництва), а також інтенсифікація їх збору та переробки з наступним розташуванням в централізованих сховищах для тривалого та/або постійного зберігання (захоронення).

Загалом в Україні станом на 2018 рік у сховищах АЕС, Державної корпорації «Українське державне об'єднання «Радон» (ДК «УкрДО «Радон»)) та об'єкті «Укриття» зберігаються відходи з активністю тритію понад  $12 \times 10^{15}$  Бк і майже вдвічі більше його емітовано в навколишнє середовище протягом кампанії ядерних реакторів, а також внаслідок радіаційних аварій [2, 3].

Значна кількість твердих радіоактивних відходів (ТРВ) знаходиться у приповерхневих сховищах на території «Пункту захоронення радіоактивних відходів» (ПЗРВ) ДК «УкрДО «Радон». Рідкі радіоактивні відходи (РРВ), знаходяться на тимчасовому зберіганні у спеціальних ємностях на ПЗРВ а також на промислових майданчиках АЕС.

Остаточне захоронення РАВ на території України планується реалізувати в Зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення на ПЗРВ комплексу виробництв «Вектор» (КВ «Вектор»).

Враховуючи, що нині сховища РАВ на АЕС України заповнені приблизно на 80-90%, а сховища деяких спецпідприємств ДК «УкрДО «Радон» – на 100%, це стало великою проблемою для всієї галузі, що пов'язана з поводженням з РАВ.

У зв'язку з цим, зберігання радіоактивних відходів атомно-промислового комплексу у приповерхневих сховищах України є одним з пріоритетних напрямів науково-технічних досліджень як у сфері поводження з РАВ та їх мінімізації, так і забезпечення техногенно-екологічної безпеки.

Одним з актуальних та виправданих напрямків проведення таких досліджень є зменшення кількості ТРВ і РРВ й переведення їх у безпечний стан для тимчасового довгострокового зберігання або захоронення. Безумовно ці процеси сприятимуть поліпшенню радіаційної безпеки та, як наслідок, поліпшенню загального екологічного стану, що відповідає положенням Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами [1].

Серед вищезгаданої загальної кількості РАВ особливе місце займають ТРВ та РРВ, що містять тритій. Особливість тритієвих РАВ обумовлена фізико-хімічними та біологічними властивостями тритію [3].

Дана робота присвячена обговоренню загальних питань сучасного стану зберігання радіоактивних відходів, що містять тритій та місць їх зберігання. Описує інфраструктуру для поводження з РАВ і умови зберігання при яких відбулася розгерметизація сховищ та надходження радіонуклідів у довкілля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні щороку використовується, генерується і накопичуються значні обсяги радіоактивних матеріалів, у тому числі і відходи, що вміщують тритій, поводження з якими потребує особливих заходів безпеки.

Найбільші обсяги тритію генерують АЕС, заданими МАГАТЕ (Міжнародна агенція з атомної енергії) щорічне його генерування у 448 ядерних реакторах світу з сумарною потужністю 391744 МВт перевищило значення 812 ПБк.

Тільки АЕС України щорічно викидають в атмосферу та скидають у гідросферу до  $10^{15}$  Бк тритію, або близько 10% загальної його активності, що генерується в реакторах, а інші утворюються під час перебігу реакцій поділу ядер  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  у реакторах, а також внаслідок взаємодії нейтронів з Li, D, В, деякі – тимчасово зберігаються у вигляді суміші радіонуклідів рідких та твердих радіоактивних відходів [3].

Тверді тритієві радіоактивні відходи зберігаються «навалом» у залізобетонних відсіках без попереднього оброблення та кондиціонування, у контейнерах без відокремлення від інших радіонуклідів. Це призводить до постійної емісії тритію у навколишнє середовище.

Рідкі тритієві радіоактивні відходи зберігаються у спеціальних ємностях з нержавіючої сталі, як суміш з іншими радіонуклідами, у тому числі довгоіснуючими. На відміну від цього тритієві рідкі радіоактивні відходи на АЕС зберігаються у двохсотлітрових металевих бочках у місцях тимчасового зберігання радіоактивних відходів АЕС, які передбачають відповідну систему інженерного захисту.

Питаннями, пов'язаними з вирішенням забезпечення техногенної і екологічної безпеки під час поводження з радіоактивними відходами, в тому числі тритієвими, досліджував Долін В.В. та інші вчені [2]. Але незважаючи на їх наукові та практичні досягнення, підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки об'єктів з наявністю тритієвих радіоактивних відходів потребує подальшої уваги.

Розкриття особливостей впливу об'єктів з наявністю тритієвих радіоактивних відходів на навколишнє середовище є актуальною науковою задачею, розв'язання якої є підґрунтям наукових засад забезпечення екологічної безпеки об'єктів накопичення і контейнерного зберігання радіоактивних тритієвих відходів.

**Деякі елементи понятійно-категоріального апарату.**

**Сховище радіоактивних відходів** – споруда для зберігання або захоронення радіоактивних відходів з обов'язковим забезпеченням інженерних, геологічних, фізичних та інших бар'єрів, що перешкоджають міграції радіонуклідів.

**Захоронення РАВ** – розміщення радіоактивних відходів в об'єкті, призначеному для поводження з радіоактивними відходами без наміру їх використання.

**Переробка радіоактивних відходів** – будь-яка операція, яка змінює характеристики радіоактивних відходів, зокрема попередня обробка та кондиціонування.

**Попередня обробка радіоактивних відходів** – дезактивація, збирання, сортування радіоактивних відходів.

**Кондиціонування РАВ** – операції щодо підготовки радіоактивних відходів для перевезення, зберігання та захоронення. Кондиціонування може здійснюватися шляхом розміщення радіоактивних відходів у контейнер або їх іммобілізації [4].

**Тимчасове зберігання РАВ** – зберігання РАВ (упаковок РАВ) протягом обмеженого терміну з подальшим їх вилученням для захоронення [5].

**Поводження з радіоактивними відходами** – всі види діяльності (включаючи діяльність, пов'язану із зняттям з експлуатації), що стосуються оперування, попередньої обробки, обробки, кондиціонування, перевезення, зберігання чи захоронення радіоактивних відходів.

**Радіаційна безпека під час поводження з радіоактивними відходами** – не перевищення допустимих меж радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище, встановлених нормами, правилами, стандартами з безпеки, а також обмеження міграції радіонуклідів в навколишнє природне середовище.

**Іммобілізація РАВ** – переведення радіоактивних відходів в іншу форму шляхом ствердіння, включення в будь-яку матрицю або заключення в герметичну оболонку [4].

**Ядерний матеріал** – ядерне паливо, за винятком природного урану і збідненого урану, яке може виділяти енергію шляхом самопідтримуваного ланцюгового процесу ядерного поділу поза ядерним реактором самостійно або у комбінації з яким-небудь іншим матеріалом, та радіоактивні продукти і відходи, за винятком невеликої кількості радіоактивних продуктів, радіоактивних відходів та ядерного палива, що встановлюються нормами, правилами і стандартами з ядерної та радіаційної безпеки, за умови, що ця кількість не перевищує максимальні межі, встановлені Радою керуючих Міжнародного агентства з атомної енергії [6].

**Обробка РАВ** – операції, призначені для забезпечення безпеки або економії коштів шляхом зміни характеристик радіоактивних відходів [4].

**Виклад основного матеріалу.** В Україні процес захоронення РАВ відбувається відповідно до національного ядерного законодавства та міжнародних домовленостей.

В усіх країнах світу, також і в Україні прийнята концепція акумулювання РАВ в певних місцях (сховищах), де вони повинні зберігатися тимчасово або постійно (зберігання) при умові забезпечення відповідного рівня безпеки.

Поводження з РАВ починається з моменту їх утворення і до захоронення самих РАВ або їх окремих компонентів.

З моменту прийняття РАВ на тимчасове або постійне зберігання (захоронення) на відповідних сховищах РАВ вони є власністю держави.

Процес захоронення, головним чином складається з того, що радіоактивні відходи розміщуються на об'єкті, призначеному для поводження з РАВ без наміру їх використання. У більшості випадках перед захороненням відходи підлягають кондиціонуванню.

Серед процесу кондиціонування РАВ найбільш важливою (поводження з тритієвими РАВ) є іммобілізації РРВ, що містять тритій.

Загальноприйнятним методом іммобілізації є отвердіння РРВ низького і середнього рівня активності шляхом їх оскловування,

цементування або бітумування, а також застосування полімерних матеріалів. У цьому випадку матриця з іммобілізованими радіоактивними відходами набуває механічної, фізичної, хімічної та радіаційної стабільності для довготермінового зберігання або захоронення й зменшення вилуговування радіонуклідів, у випадку контакту з водою (в умовах зберігання або захоронення) [8].

Іммобілізовані РРВ залежно від характерних особливостей та їх концентрації (питомої активності) можуть пакуватись в різні контейнери, починаючи від звичайних металевих бочок до таких, що мають складну багат шарову конструкцію з товстими стінками.

Слід зазначити, що за умов тимчасового зберігання РАВ на спеціалізованих підприємствах ДК «УкрДО «Радон» технологічно не вдається уникнути переробки РАВ, тобто їх кондиціонування.

В Україні існує декілька місць зберігання та захоронення радіоактивних відходів, зокрема:

- сховища на майданчиках АЕС для зберігання ТРВ та РРВ;
- ПЗРВ спецпідприємств ДК «УкрДО «Радон»;
- об'єкти Міністерства оборони колишнього СРСР і України;
- пункти захоронення або тимчасової локалізації РАВ, що виникли при ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи та інших радіаційних аварій;
- відвали та хвостосховища видобування, збагачення і переробки уранових руд, а також терикони, шламо- і золосховища відходів виробництва залізородної, вугільної та нафтової промисловості, промисловості в галузі теплоенергетики і будівництва, в яких достатньо часто зберігаються радіаційно-забруднені матеріали [7].

При цьому слід зазначити, що місця зберігання радіоактивних відходів не варто плутати зі сховищами відходів, де існує організоване і безпечне зберігання РАВ [3].

Одним з етапів поводження з РАВ є їх тимчасове зберігання в спеціально відведених місцях – ПЗРВ, на яких слід зупинитися окремо.

Для тимчасового зберігання РАВ неядерного походження в країні існує п'ять державних міжрегіональних спецкомбінатів (ДМСК) ДК «УкрДО «Радон» (шостий міжобласний спецкомбінат – Донецький МСК ДК «УкрДО «Радон» був зруйнований внаслідок проведення АТО на територіях поблизу Донецького аеропорту) та окремі сховища на майданчиках АЕС.

Всі ДМСК створені по типовому проекту, це віддалений від населених пунктів майданчик з комплексом будівель (ангарів), що називають приповерхневими сховищами РАВ, а також окремі ангари з ємностями для зберігання РРВ та системою свердловин спостереження для проведення моніторингу.

Відповідно до проектних умов, на територіях ПЗРВ є додаткові технологічні приміщення, лабораторії, контрольні свердловини тощо.

Територія ПЗРВ умовно поділена на дві зони: «умовно чисту» та «умовно брудну», на межі яких розташована радіологічна лабораторія, санпропускник та станція для дезактивації спецавтотранспорту. Периметр ПЗРВ огорожено та забезпечено камерами відеоспостереження [9].

Для спостереження за радіаційною обстановкою сховищ на території розташовані додаткові, контрольні свердловини.

Крім того, дані що отримані завдяки пробам (із контрольних свердловин) визначають основні «реперні точки» для моделювання процесів попадання (надходження) тритію у свердловини.

Зважаючи на згадане, вважаємо доцільним розглянути типову конструкцію контрольних свердловин та модель міграції тритію (Т) зі сховищ ТРВ (рис. 1).

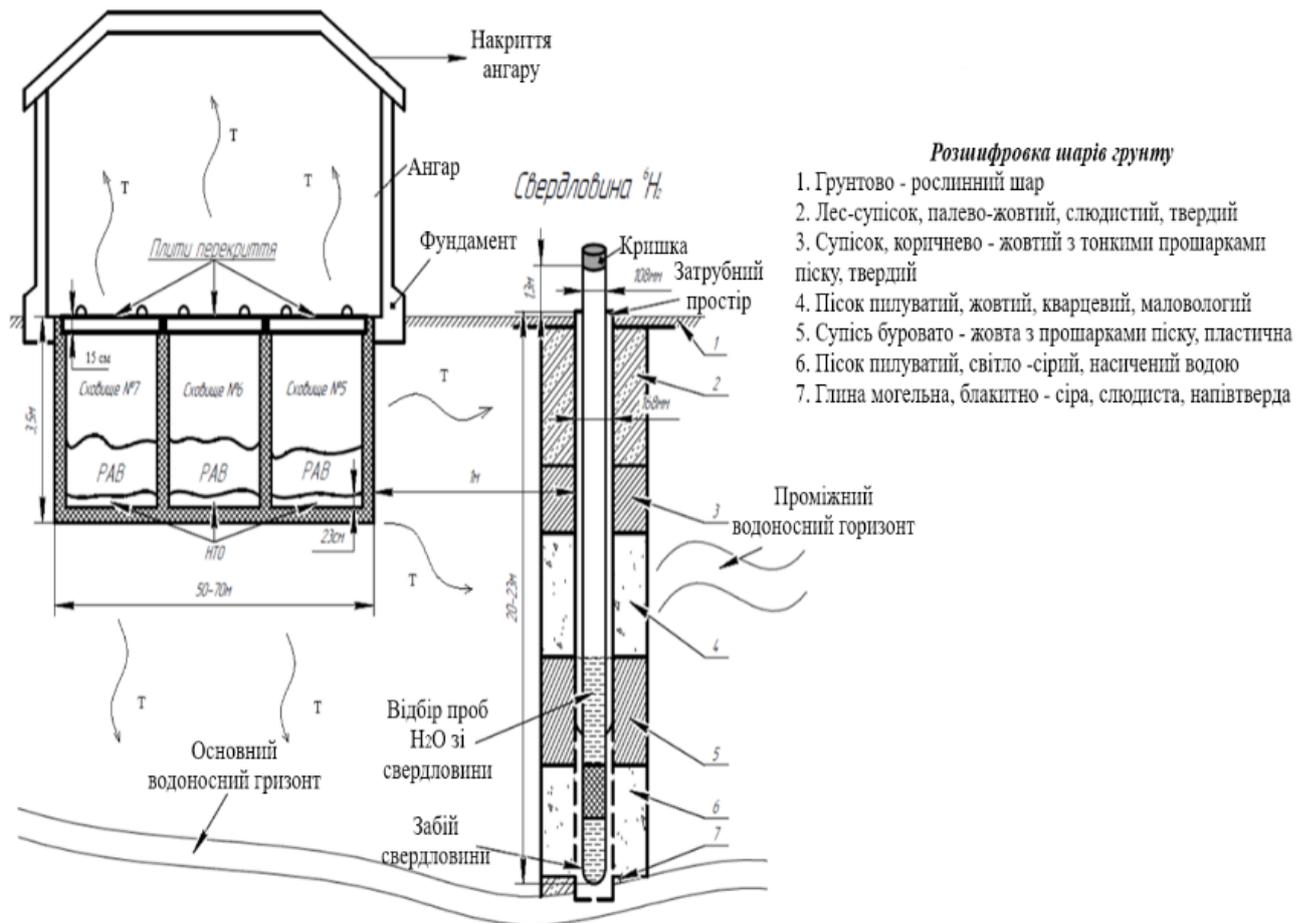


Рис. 1. Модель міграції тритію зі сховищ твердих радіоактивних відходів. Розташування і характеристики свердловини спостереження.

На рисунку 1 показано типовий ангар зі сховищами ТРВ на спецпідприємствах ДК «УкрДО «Радон», що заповнені РАВ, а також свердловину спостереження поблизу ангару та її основні характеристики (на прикладі аварійних сховищ ТРВ №5, №6, №7 Київського ДМСК «ДК «УкрДО «Радон»).

Натепер на ДМСК ДК «УкрДО «Радон» реалізуються заходи щодо переопрофілювання та переоснащення спецпідприємств корпорації, зокрема припинено розміщення відпрацьованих ДІВ за технологією захоронення їх у сховищах колодязного типу. Їх зберігають у спеціальних контейнерах в охоронній тарі, які в подальшому розміщують у спеціально споруджених сховищах ангарного типу. Це дозволяє запобігати потраплянню радіонуклідів в природне середовище (багатошаровий захист).

Щодо законсервованих сховищ РАВ, розміщених на майданчиках ДМСК, експлуатація

яких здійснювалась до 1996 року за технологією, що передбачала розміщення відходів без наміру їх подальшого вилучення. Нині проводиться переоцінка безпеки, яка дозволить обґрунтувати період безпечного існування таких сховищ та запланувати заходи з вилучення РАВ із них.

Слід зазначити, що за існуючих способів зберігання РАВ, практично всі місця зберігання та захоронення (сховища) РАВ є потенційно небезпечними з точки зору техногенної та радіоекологічної небезпеки.

Відходи, що вміщують тритій у вигляді ТРВ (забруднені ґрунти, спецодяг та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) ліквідаторів на ЧАЕС, деталі медичного устаткування, біологічні відходи, тритієві мішені) або РРВ зберігаються на ПЗРВ ДК «УкрДО «Радон» у приповерхневих сховищах РАВ.

Рідкі радіоактивні відходи, що містять тритій зберігаються на Київському ДМСК,

Дніпропетровському ДМСК, Одеському ДМСК та незначна кількість на Харківському ДМСК ДК «УкрДО «Радон».

Оцінка стану приповерхневих сховищ РАВ та спеціальних ємностей для зберігання РРВ, в тому числі, що вміщують тритій, на пунктах зберігання радіоактивних відходів (ПЗРВ) спецпідприємств ДК «УкрДО «Радон» проводиться постійно.

Тритійвміщуючі РАВ, які утворилися під час роботи атомних електростанцій, зберігаються на спецмайданчиках АЕС. Одне з головних джерел надходження тритію в навколишнє середовище пов'язано з переробкою відпрацьованого ядерного палива.

Основна частина тритієвих РАВ зберігається у сховищах Київського і Харківського спецкомбінатів. Ці сховища споруджено у 1960-х роках, з проектним запасом міцності 30 років. Нині, деякі з них частково втратили герметичність і в умовах обводнення (підвищеного техногенного зволоження або локального підтоплення) з потенційних джерел тритієвого забруднення перетворились на реальні: на Київському та Харківському ДМСК відбулись радіаційні аварії, які призвели до забруднення горизонту підземних вод до рівня  $10^{17}$  Бк/дм<sup>3</sup> [2].

**Висновки і пропозиції.** Безперечне зберігання РАВ атомно-промислового комплексу у приповерхневих сховищах РАВ вимагає постійних системних науково-технічних досліджень як у сфері безпосереднього поводження з РАВ, так і забезпечення при цьому техногенно-екологічної безпеки.

Крім того, одним з актуальних та виправданих напрямків проведення досліджень щодо зменшення кількості ТРВ і РРВ, є їх мінімізація, тобто розроблення таких технологій, які б значно зменшували кількість РАВ. Це стосується всіх РАВ.

Дані цієї роботи слід розглядати як певну «платформу» для дослідження в області поводження з РАВ, що містять тритій. Також дослідженню, насамперед, підлягають технології поводження з РАВ, методики та проектування обладнання, зокрема:

- мінімізації утворення вищезазначених РАВ;

- окремо, мінімізації РРВ;
- переведення РРВ у ТРВ;
- проектування контейнерів для РРВ та ТРВ, зважаючи на специфічні властивості РАВ, що містять тритій тощо;
- необхідно розробити, апробувати методику та створити установку для зменшення кількості РРВ, що містять тритій у формі НТО (тритієва вода);
- розробити та стандартизувати методику оцінки стану приповерхневих сховищ РАВ та спеціальних ємностей для зберігання РРВ що містять тритій на пунктах зберігання радіоактивних відходів спецпідприємств ДК «УкрДО «Радон» і для визначення техногенно – екологічної безпеки при подальшій їх експлуатації (розробка та формулювання певних показників);
- розробити та стандартизувати методику оцінки ситуації (певні показники) з утворення та накопичення ТРВ та РРВ що містять тритій на підприємствах країни тощо.

Етап переведення концентрованих РРВ у ТРВ зменшить загрозу виникнення техногенно - екологічної небезпеки під час експлуатації приповерхневих сховищ РАВ, а також дозволить зменшити кількість РРВ у спеціальних ємностях для їх тимчасового зберігання на підприємствах ДК «УкрДО «Радон» та промислових майданчиків АЕС.

Реалізація запропонованих заходів є підґрунтям підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки під час поводження з радіоактивними тритієвими відходами.

## Література

1. Закон України від 17.09.2008 р. №516-VI «Загальнодержавна цільова екологічна програма поводження з РАВ»; Закон України від 15.01.2009 р. №886-VI.
2. Долін В.В. Тритій у біосфері/ В.В. Долін, О. В. Пушкарьов, І.Ф. Шраменко. – Київ: Наукова думка, 2012. – 224 с.
3. Полякова І.О. Наукові засади забезпечення екологічної безпеки об'єктів накопичення і контейнерного зберігання тритієвих відходів:

автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека»/ І.О. Полякова. - Київ, 2016. – 23 с.

4. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» Постанова Верховної Ради України від 30.06.95 р. № 255/95-ВР.
5. Загальні положення безпеки при поводженні з радіоактивними відходами до їх захоронення, Наказ Держатомрегулювання України № 279 від 01.08.17 р.
6. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» Постанова Верховної Ради України №40/95-ВР від 08.02.1995 р. №12, ст.82.
7. Хранилища радиоактивных отходов в Украине/А. А. Кретинин, О.К. Авдеев та ін.]– К. 2008. – 320 с.
8. Корчагин П.А. Обращение с радиоактивными отходами в Украине: проблемы, опыт, перспективы /П. А. Корчагин, П. В. Замостьян, В.М. Шестопалов. - Киев: Иван Федоров. 2000. – 178 с.
9. Полякова І.О. Оцінка захисних властивостей контейнера для зберігання відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання. Зб. наук. праць ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». Вип. 22. Київ. 2013. С. 179-188.

#### References

1. Zahal'noderzhavna tsil'ova ekolohichna prohrama povodzhennya z RAV. Zatverdzhena ZU vid 17.09.2008 № 516-VI ta ZU vid 15.01.2009 № 886-VI. [National target ecological program of radioactive waste management. Approved by the Law of Ukraine № 516-VI dated September 17, 2008 and No. 886-VI dated January 15, 2009].
2. Dolin V.V., Pushkar'ov O.V., Shramenko I.F. ta in. Trytyi u biosferi. Kyiv: Naukova dumka, 2012. 224 s. [Dolin V.V., Pushkarev O.V., Shramenko I.F. etc. Tritium in the biosphere. Kyiv. Scientific Opinion. 2012. 224 p.].
3. Poliakova I.O. Naukovi zasady zabezpechennya ekolohichnoyi bezpeky ob'yektiv nakopychennya i konteynernoho zberihannya trytyyevykh vidkhodiv: avtoref. dys. kand. tekhn. Nauk: spets. 21.06.01 «Ekolohichna bezpeka»; Derzhavna akademiya pislyadyplomnoyi osvity ta upravlinnya Minpryrody Ukrayiny. Kyiv, 2016. 23 s. [Poliakova I.O. Scientific fundamentals of ecological safety of objects of accumulation and container storage of tritium waste: author's abstract. dis Cand. tech Science: special 21.06.01 «Ecological safety»; State Academy of Postgraduate Education and Management of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine. Kyiv, 2016. 23 p.].
4. Zakon Ukrayiny «Pro povodzhennya z radioaktyvnymy vidkhodamy» Vvedennya v diyu postanovoyu VR Ukrayiny № 256/95-VR vid 30.06.95 r. № 27, st.199. [Law of Ukraine «On the Management of Radioactive Waste» The enactment of the Decree of the Verkhovna Rada of Ukraine No. 256/95-VR of 30.06.95 No. 27, article 199.].
5. Zahal'ni polozhennya bezpeky pry povodzhenni z radioaktyvnymy vidkhodamy do yikh zakhoronennya, Nakaz Derzhatomrehulyuvannya Ukrayiny № 279 vid 01.08.17r. [General provisions for the handling of radioactive wastes to their disposal, SNRCU Order No. 279 of 01.08.17.].
6. Zakon Ukrayiny «Pro vykorystannya yadernoyi enerhiyi ta radiatsiyну bezpeku» Vvedennya v diyu Postanovoyu VR Ukrayiny № 40/95-VR vid 08.02.1995 r. №12, st.82. [The Law of Ukraine «On the Use of Nuclear Energy and Radiation Safety» The enactment of the Decree of the Verkhovna Rada of Ukraine No. 40/95-VR of February 8, 1995, No. 12, p.82.].
7. Kretinin A.A., Avdeev O.K., Bernadina L.I., Shakhov A.A., Ledenev A.I., Yakovlev V.M., Polyakov V.D., Fedevich O.M. Khranilishcha radioaktivnykh otkhodov v Ukraine. Kiyev., 2008. 320 s. [Kretinin A.A., Avdov OK, Bernadina L.I., Shakhov A.A., Ledenev A.I., Yakovlev V.M., Poliakov V.D., Fedevich O.M. Radioactive waste storage in Ukraine. Kiev. 2008. 320 p.].
8. Korchagin P.A., Zamost'yan P.V., Shestopalov V.M. Obrashcheniye s radioaktivnymi otkhodami v Ukraine: problemy, opyt, pers-

- pektivy. Kiyev, 2000. 178 s. [Korchagin P.A., Zamostyan P.V., Shestopalov V.M. Radioactive waste management in Ukraine: problems, experience, prospects. Kyiv. Ivan Fedorov. 2000. 178 p.].
9. Poliakova I.O. Otsinka zakhysnykh vlastyvostey konteynera dlya zberihannya vidprats'ovanykh dzherel ionizuyuchoho vyprominyuvannya. Zbirnyk naukovykh prats' DU «Instytut heokhimiyi navkolyshn'oho seredovyscha NAN Ukrayiny», Vyp. 22, Kyiv, 2013, S. 179-188. [Poliakova I.O. Assessment of the protective properties of the container for storage of waste ionizing radiation sources. Collection of scientific works of the State University «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine»], Issue 22, Kyiv. 2013. pp. 179-188.

# ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕНТОНІТОВОЇ СИРОВИНИ І МАТЕРІАЛІВ НА ЇЇ ОСНОВІ В АТОМНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

Шабалін Б.Г.

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»  
Просп. Академіка Палладіна, 34-а, 03142, м. Київ  
[b\\_shabalin@ukr.net](mailto:b_shabalin@ukr.net)

Розглянуто існуючий стан використання бентонітових глин і матеріалів на їх основі на об'єктах поводження з радіоактивними відходами (РАВ) атомної енергетики України і спорудженні та виведенні з експлуатації поверхневих й приповерхневих сховищ для їхнього захоронення на комплексі «Вектор». Запропоновано першочергові заходи щодо розробки і створення композицій глинистих матеріалів на основі вітчизняної сировини бентонітових глин для забезпечення різних об'єктів поводження з РАВ. **Ключові слова:** бентонітові глини, об'єкти поводження з радіоактивними відходами, ізоляція радіоактивних відходів, інженерні бар'єри, екологічна безпека.

**Перспективы использования бентонитового сырья и материалов на ее основе в атомной энергетике Украины для повышения экологической безопасности при обращении с радиоактивными отходами.** Шабалин Б.Г. Рассмотрено существующее состояние по использованию бентонитовых глин и материалов на их основе на объектах обращения с РАО радиоактивными отходами (РАО) атомной энергетики Украины, сооружении и выведении из эксплуатации поверхностных /приповерхностных хранилищ для их захоронения на комплексе «Вектор»/. Предложены первоочередные меры по разработке и созданию композиций глинистых материалов на основе отечественного сырья бентонитовых глин для повышения безопасности различных объектов обращения с РАО. **Ключевые слова:** бентонитовые глины, объекты обращения с радиоактивными отходами, изоляция радиоактивных отходов, инженерные барьеры, экологическая безопасность.

**Perspective use of raw bentonite and bentonite-based materials in Ukrainian nuclear industry to improve environmental safety of the radioactive waste management.** Shabalin B. The article presents current state of use of bentonite clay and bentonite-based materials at the Ukrainian nuclear power radioactive waste management facilities as well as construction and decommissioning of the surface/near surface repositories for radioactive waste disposal at the «Vektor» complex. Priority measures for developing and creating clay mineral compositions based on available domestic bentonite clay raw materials are proposed in order to improve safety of radioactive waste management facilities. **Key words:** bentonite clay, radioactive waste management facility, radioactive waste isolation, engineered barriers, environmental safety.

**Вступ.** Багаторічні численні дослідження й розробки технологій, які проводилися в різних країнах з кінця 1970-х років довели, що глина і глинисті матеріали в якості буферних матеріалів, ущільнень або засипок використовуються майже в кожній програмі розробленій технології поводження з радіоактивними відходами (РАВ), а бентонітові глини зокрема, є найбільш ефективними для створення сорбційно-гідроізолюючих бар'єрів при спорудженні і виводу з експлуатації об'єктів атомної енергетики, включно із сховищами для зберігання/захоронення таких відходів. Обсяги використання бентоніту і матеріалів на його основі в атомних галузях країн постійно збільшуються.

Слід зазначити, що в Україні суттєво обмежені власні джерела знань з використання глин в атомній енергетиці. Дотепер існує хибна

практика нехтування системним аналізом та урахуванням спеціальних властивостей вихідної глинистої сировини (зокрема, бентонітової) та способів її модифікування, що призводить до недостатньо ефективного її використання для забезпечення належного рівня екологічної безпеки об'єктів розміщення РАВ на весь період їх експлуатації і закриття.

Ефект недостатньої вивченості властивостей глинистих матеріалів у сукупності з ігноруванням або спрощенням технологій створення бар'єрних систем цілковито виявився на об'єктах з ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС), яка проводилась у вкрай обмежені строки. Ефективність цих робіт для досягнення цілей радіаційної і екологічної безпеки виявилась досить низькою [1].

Так, вздовж зовнішнього периметру промислового майданчика ЧАЕС був споруджений глиняний бар'єр типу «стіна в ґрунті» глибиною 30 м з метою запобігання проникнення забруднених ґрунтових вод. Спорудження «стіни в ґрунті» спричинило підтоплення промислового майданчика ЧАЕС, прилеглих забруднених територій та не сприяло вирішенню проблеми забруднення води річки Прип'ять. Водночас виникли ризики потрапляння забрудненої води у 1 і 2 реактори станції. Для вирішення цієї проблеми постала необхідність створення потужної системи водозниження з відкачуванням понаднормовано забруднених ґрунтових вод у канал водойми охолоджувача ЧАЕС, що призвело до його додаткового забруднення, а отже і додаткових проблем протягом його виведення з експлуатації. Також ці заходи призвели до несприятливих екологічних наслідків стосовно підтоплення територій довколишніх лісів.

Іншим прикладом недостатнього врахування властивостей глинистих матеріалів можуть бути земляні траншеї та бурти з радіоактивними матеріалами чорнобильського походження (пункти захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ «Буряківка», ПЗРВ «Підлісний», пункти тимчасової локалізації РАВ (ПТЛРВ), які є джерелами потрапляння радіонуклідів у ґрунтові води. Підтвердженням цього є дані моніторингу підземних вод на майданчику приповерхневого сховища траншейного типу «Буряківка», де,

незважаючи на створений з місцевих глин фільтруючий екран по дну і бічних поверхнях кожної траншеї товщиною 1 метр, у свердловинах по периметру траншей фіксуються високі значення активності радіостронцію у підземній воді четвертинного водоносного горизонту [2].

**Мета роботи** - аналіз існуючого стану використання бентонітових глин і матеріалів на їх основі на об'єктах поводження з РАВ атомної енергетики України, при спорудженні та виведенні з експлуатації поверхневих /приповерхневих сховищ для захоронення радіоактивних відходів, а також розроблення основних заходів щодо підвищення їх ефективності та розширення обсягів їх застосування для підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки на об'єктах поводження з РАВ.

**Використання глин і глинистих матеріалів як інженерних бар'єрів для захоронення РАВ.** Аналіз досвіду з підвищення рівня радіаційної безпеки сховищ РАВ засвідчив, що глини і глинисті матеріали як інженерних бар'єрів є важливим чинником при створенні бар'єрів безпеки на запланованих для спорудження об'єктах поверхневого /приповерхневого/ глибинного захоронення РАВ та можуть бути використані для [3]:

- створення протиміграційних бар'єрів безпеки із заданими високими сорбційними і низькими фільтраційними властивостями;
- створення гідроізолюючих бар'єрів при виведенні з експлуатації;
- консервації камер РАВ (відсіків, секцій та інших допоміжних приміщень), створення герметичних переділів.

Використання глинистих матеріалів як компонентів інженерних бар'єрів у пунктах з зберігання/захоронення/зберігання РАВ дозволяє забезпечити наступне:

- обмежити доступ ґрунтових і підземних вод до РАВ;
- створити умови, за яких масообмін між відходами та ґрунтовими, підземними водами здійснюється лише шляхом дифузії;
- забезпечити ефективну сорбцію радіонуклідів у разі розгерметизації контейнерів (каністр, бочок, тощо) з відходами;
- загерметизувати відкриті тріщини і великі

пори в гірських породах за рахунок високої здатності до набухання.

При цьому технологія створення і склад матеріалів інженерних бар'єрів повинні підбиратися з урахуванням класу і типу РАВ, конструкції та геометрії сховища, а також геологічних і гідрогеологічних умов розміщення сховищ. Масштабне проведення робіт із забезпечення довгострокової безпеки сховищ вимагає розроблення системи додаткових захисних інженерних бар'єрів для запобігання надходженню радіонуклідів у навколишнє середовище. Бар'єрні системи повинні мати необхідні властивості, щоб забезпечити безпечно та надійне довготривале зберігання РАВ. При цьому всі компоненти бар'єрної системи повинні зберігати стабільність протягом експлуатації. Для оцінки безпеки об'єктів поверхневого / приповерхневого захоронення РАВ необхідна інформація про наступні параметри та характеристики захисних бар'єрів:

- коефіцієнт розподілу між водою і матеріалом бар'єру для основних дозоутворюючих радіонуклідів;
- коефіцієнт фільтрації води в бар'єрах;
- заміну з часом захисних властивостей бар'єрів (міцнісних, фільтраційних і сорбційних).

Натепер в нормативно-технічній документації країни відсутня чітка конкретика про допустимі види і походження застосовуваних глин і матеріалів на їх основі (включаючи бентоніт) для використання в атомній галузі, вимоги до показників якості глин і матеріалів залежно від їх призначення і умов застосування, методи визначення показників, технічні вимоги (стандарти) до отримуваних матеріалів.

**Характеристика бентонітових глин як матеріалу інженерних бар'єрів.** Основними характеристиками глинистих матеріалів для створення інженерних протиміграційних бар'єрів безпеки як потенційних складових поверхневих / приповерхневих сховищ РАВ є такі показники: коефіцієнт фільтрації і дифузії, пористість, проникність, ємність катіонного обміну, коефіцієнти сорбційного розподілу радіонуклідів, кінетичні параметри, кількість і характер сорбційних центрів, розмір кристалітів, величина питомої поверхні, індекс і тиск

набухання тощо. Найбільш перспективними можуть бути бентонітові глини з високим вмістом смектитових мінералів (понад 60 мас.%). Найбільш розповсюдженим породотвірним елементом бентонітових порід є монтморилоніт – широковідомий представник діоктаедричних смектитів.

Основним елементом кристалічної структури монтморилоніту є триповерховий силікатний шар, що є зчленуванням двох зовнішніх тетраедричних сіток із внутрішньою октаедричною (тип 2:1) [4]. Характер зв'язків такий, що в основі сітки тетраедра лежить радикал  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ , провідним катіоном октаедричної сітки є  $\text{Al}^{3+}$ , координований з іонами кисню і ОН-групами (рис. 1). Виникнення надмірного негативного заряду в силікатних шарах пов'язане, насамперед, з гетеровалентним ізоморфізмом. Для всіх монтморилонітів, незалежно від фізико-хімічних умов кристалізації мінералу, має місце ізоморфне заміщення у момент кристалізації. Міжпластові катіони ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) не лише забезпечують компенсацію (-) зарядів суміжних силікатних шарів, але й установлюють зв'язок між ними [5]. Двовалентні катіони порівняно з одновалентними, забезпечують більш сильне притягання між пакетами, тому кальцієвий бентоніт гірше набухає і диспергується, ніж натрієвий.

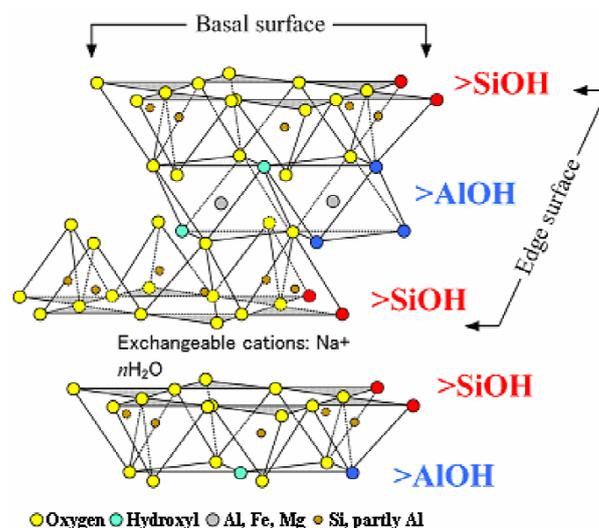


Рис. 1. Структура монтморилоніту [6]

Загальний вміст міжпластових катіонів, спроможних вступати в реакції обміну у водних розчинах і суспензіях, характеризується величиною обмінної ємності (ОЄ) глини, яка

пов'язана з кількістю іонообмінних центрів для цього зразка глини. Величина ОЄ при розрахунку на повітряно-суху глину для більшості монтморилонітових глин становить до 80-150 мг-екв на 100 г, тобто у 100 г. сухої глини міститься  $4,8 \times 10^{22} \dots 9 \times 10^{22}$  обмінних катіонів [7]. У монтморилоніті 80 % обмінних катіонів розташовані в міжпластовому просторі, а близько 20 % – на механічно обламаних краях (ребрах) кристалів. Питома поверхня бентоніту досягає 450 - 900 м<sup>2</sup>/г.

Взаємодія за механізмом іонного обміну характерна для радіонуклідів, що слабо гідролізуються та утворюють катіони у водних розчинах (<sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs і ін.), а для іонів актинідів має місце переважно на краєвих центрах глинистого мінералу і їх кількість, як правило, не корелює з обмінною ємністю.

Оскільки умови кристалізації монтморилоніту дуже різноманітні, а його структура досить лабільна до коливань, ми завжди маємо справу з різними кристалічними різновидами мінералу. Відмітимо, що гідрофільність та іонообмінна здатність зростають тим більше, чим більш недосконалою є кристалічна структура глинистого мінералу, і навпаки, ці значення мінімальні для досконалих за структурою

кристалів.

З кристалохімією монтморилоніту нерозривно пов'язана будова кристалітів, прояв активної енергії в процесах гідратації, адсорбції і, як наслідок, технологічні властивості бентоніту. Кристаліти монтморилоніту – це пластинкоподібні частинки розміром  $\leq 10^{-5}$  см, які утворюють агрегати [8].

Зовнішня пористість бентонітів залежить від типу зв'язування частинок. Зазвичай, розрізняють два типи зв'язків частинок: край до краю (*edge-to-edge*) та край до поверхні (*edge-to-face*) (рис. 2) [9]. У вигляді суспензії, кристаліти бентонітів пружно деформуються та мають пористу структуру. При контакті бентоніту з ґрунтовою водою бентоніт знаходиться переважно в рівновазі з хімічними компонентами ґрунтових вод у великих порах, у міжпластовій воді, в подвійних пластах та на поверхні. Саме у воді у великих порах (вільна вода) проявляється вплив хімічних компонентів ґрунтових вод. Якщо розмір пори в бентонітах прийняти рівним  $10^{-5}$  см, то вони будуть практично заповнені зв'язаною водою. Лише у порах розміром понад  $10^{-4}$  см може з'явитися вільна вода, яка буде задіяна в геохімічних процесах у бентонітовому буфері.

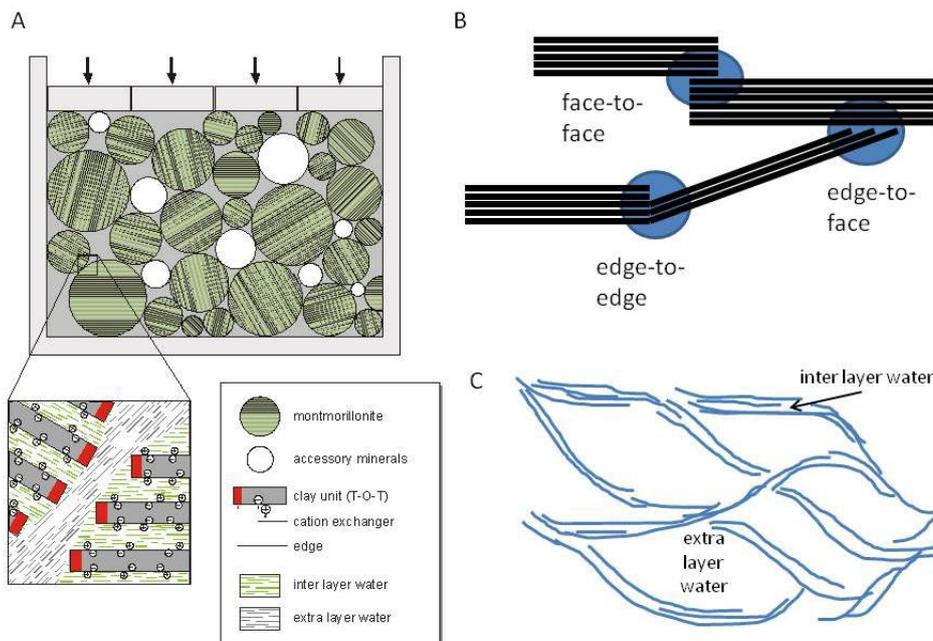


Рис. 2. Узагальнена мікроструктура бентоніту (А); типи контактів частинок бентоніту (В); пориста структура бентоніту (С) [9]

Як другорядні глинисті матеріали у бентоніті зустрічаються гідролуїди, каолінит, іліт, хлорит, змішаношаруваті мінерали складу хлорит-монтморилоніт, іліт-монтморилоніт, палигорськіт [8,10]. Ці мінерали впливають на властивості бентоніту і бентонітоподібних глин, змінюючи (у разі їх присутні у значній кількості) зв'язуючу здатність, адсорбційну активність тощо. Неглинисті мінерали також впливають на технологічні властивості та якість бентоніту і бентонітоподібних глин. Зокрема, домішка цеолітів може посилювати адсорбційну активність бентоніту. Кварц, сульфід заліза і важких металів, польові шпати, кальцит знижує якість сировини.

Слід зауважити, що присутність органічної речовини може негативно позначатися на збереженні властивостей композицій на далеку перспективу за рахунок мікробіологічної та радіаційної деструкції, що слід враховувати при проектуванні поверхневих / приповерхневих сховищ РАВ.

При створенні інженерних протиміграційних бар'єрів безпеки бентонітові глини можуть використовуватися як у вигляді грудкоподібної сировини відразу після видобутку в кар'єрах, так і після попередньої обробки – пластичної деформації, сушіння, подрібнення, гранулювання, активації содою для поліпшення і надання додаткових властивостей згідно з вимогами до гранулометричного складу, насипної щільності тощо.

Для покращення економічних показників, при дотриманні необхідних вимог безпеки у низці об'єктів поводження з РАВ, можуть використовуватися суміші бентоніту з піском (визнана в міжнародній практиці технологія) [11], а також місцеві полімінеральні глини не дуже високої якості, супіски, суглинки й ґрунти.

Модельні оцінки надійності бентонітових порід та інженерних бар'єрів повинні спиратися на експериментальні дані. Для підтвердження надійності використання бентонітових матеріалів у інженерних бар'єрах об'єктів захоронення РАВ необхідно проводити експериментальне визначення міграційних параметрів, які містять показники, що відповідають за масоперенос через матеріали бар'єру (коефіцієнти дифузії і фільтрації, активна пористість) і параметри

взаємодії між рухливими радіонуклідами і бар'єром (ємність катіонного обміну, розмір кристалітів, питома поверхня, концентрація різних типів сорбційних центрів, коефіцієнти сорбційного розподілу). Експериментальні визначення параметрів іонного обміну необхідно проводити спільно з визначенням параметрів дифузійного переносу на зразках непорушеної структури або зразках інженерних бар'єрів.

**Родовища бентонітових глин в Україні.** Запаси бентонітової сировини високої якості в Україні є достатньо високими. Промислові поклади виявлені в межах Українського щита, Дніпровсько-Донецької і Закарпатської внутрішньої западин, Передкарпатського крайового прогину, Волино-Подільської плити та Кримської складчастої області. На території країни розташовано понад 100 родовищ і проявів бентонітових глин, які мають різний ступінь вивченості [12]. За величиною (розміром) запасів бентонітові родовища представлені великими (понад 20000 тис. т), середніми (20000-30000 тис. т) і малими (менше 3000 тис. т). На 1 січня 2018 р. Держбалансом запасів України обліковано 9 родовищ та 1 об'єкт обліку бентонітових глин з розвіданими та затвердженими запасами (рис. 3), з яких розробляються 3 родовища (Горбківське, Черкаське, Григорівське) і 1 об'єкт обліку (Пологівське родовище), запаси яких становлять близько 86 % запасів країни і складають основний відсоток видобутку бентонітової сировини. Всього балансові запаси бентонітових глин складають 60603,225 тис. т (категорія А+В+С<sub>1</sub>), у тому числі, що розробляються - 52190,225 тис. т. [12]. Основними підприємствами з видобутку бентонітових глин в країні є ПАТ «Дашуківські бентоніти» (Черкаське родовище, Дашуківська ділянка), ТОВ «Григорівський рудник» (Григорівське родовище), ТОВ «КП БЕНТА» (Максимове родовище) і ТОВ «Гірничовидобувна компанія «Мінерал» (Пологівське родовище, І черга ділянки ІІ).

Бентонітова сировина видобувається відкритим способом – на кар'єрах селективно. Бентонітові глини використовуються в різних галузях промисловості: металургійній, масложировій, паперовій, фармацевтичній, хімічній, в сільському господарстві та у виробництві будівельних матеріалів тощо.



Рис. 3. Оглядова карта мінерально-сировинної бази бентонітових глин України [12].

Якість бентонітової сировини забезпечується вмістом і структурними особливостями основного найбільш корисного компонента — смектитового мінералу (монтморилоніту) [8]. Вміст монтморилоніту може варіюватися у бентонітових глинах від 90-95 % (родовище Пижівське) до 65-70 (родовища Черкаське і Горбківське) [13]. Насипна щільність бар'єрних сумішей на основі бентонітових глин може бути підвищена за рахунок використання нових матеріалів. Насамперед, до таких матеріалів можна віднести використання компактованих гранул (пелет) чистого бентоніту або бентоніту з різним вмістом піску [14]. Зважаючи на те, що Черкаське родовище бентонітових глин є найбільшим в Україні, має досить велику потужність бентонітового пласту з можливістю видобутку глин відкритим (кар'єрним) способом, розвинуту інфраструктуру і відносно близьке розташування до Чорнобильської зони відчуження, його можна віднести до найперспективніших з точки зору подальшого вивчення і оцінки придатності бентонітів як буферного матеріалу на об'єктах поводження з РАВ.

Таким чином, можна зробити висновок про доступність бентонітових глин для розроблення і створення бар'єрних сумішей із заданими властивостями, які при варіюванні їх складу будуть найбільш перспективними для використання в якості протиміграційних бар'єрів в атомній галузі.

**Перспективи розроблення і створення матеріалів з бентонітових глин для інженерних бар'єрів.** У зв'язку з аварією на ЧАЕС Україна займає четверте місце в світі (після США, Росії та Франції) за накопиченими обсягами РАВ, що становить близько 3,45 млн м<sup>3</sup>. З них 97 – 98 % РАВ належать до короткоіснуючих і можуть бути захоронені в поверхневих / приповерхневих сховищах. Ймовірно, що найбільші обсяги бентонітових глин будуть використовуватися для створення поверхневих /приповерхневих мультибар'єрних сховищ для захоронення КІ НСАВ (коротко існуючі низько – та середньоактивні відходи) на комплексі «Вектор» (типу ТРВ-1, ТРВ-2 і СОПСТРВ (спеціально обладнане приповерхнє сховище твердих радіоактивних відходів), а також із

введенням категорії ДНАВ (дуже низькоактивні відходи) у рамках нової класифікації відходів – у спрощених (насипних) поверхневих сховищах (типу «Буряківка»). Суттєвий відсоток необхідних обсягів бентонітових глин припадатиме на створення геологічного сховища для захоронення ДІ САВ (для зберігання довгоіснуючих середньоактивних відходів) і ВАВ (високоактивних відходів). Існують дві основні причини введення цієї категорії відходів: спрощується процес поводження з РАВ та зменшуються витрати, а саме, на захоронення РАВ.

Нині в багатьох країнах світу категорія ДНАВ є усталеною і експлуатуються насипні сховища [15]. Такі сховища розташовані на майданчиках АЕС (Швеція) (рис. 4. А), також є і централізовані національні об'єкти ДНАВ на майданчику сховища НАВ або поруч з ним (Франція, Іспанія) (рис. 4. Б). Перевагою такого варіанта є менша кількість сховищ у країні, проте це вимагає більших обсягів перевезень і посилення вимог до упаковки та кондиціонування відходів перед їх транспортуванням. Слід зазначити, що вироблені

ДНАВ можна захоронювати без тривалого періоду зберігання, який потрібен у разі їх накопичення в достатньому обсязі для масового захоронення (Швеція) ДНАВ захоронюються протягом 3-5 років з моменту їх утворення) або транспортування в центральне сховище (наприклад, у Франції). В обох випадках відсутня необхідність будувати тимчасові сховища, ДНАВ, потрібно лише невелике проміжне сховище. Передбачається, що рівні активності ДНАВ знизяться до безпечних рівнів протягом 60-100 років.

Насипні сховища ДНАВ мають схожу конструкцію, яка містить довговічні слабопроникні або непроникні матеріали. У якості таких матеріалів використовуються глини, бітум, спеціальні полімерні плівки (геомембрани). Оптимальний протифільтраційний ефект верхнього екрану можна отримати при використанні екранів з глин одночасно з полімерними плівками. Нижній екран повинен мати хорошу сорбційну здатність (великий коефіцієнт розподілу).



Рис. 4. А. Сховище для захоронення ДНАВ у Швеції;  
Б. Сховище для захоронення ДНАВ у Франції

Для однієї траншеї (насипних) поверхневих сховищ (типу ПЗРВ «Буряківка») з розміром 140-150 × 60-65 × 4 м з верхнім екраном з глиною та товщиною 0,5 м і нижнім екраном з глиною товщиною 1 м (1,7 т/м<sup>3</sup>) знадобиться близько 15000 м<sup>3</sup> (~ 25500 т) ущільненої глини. Якщо припустити створення ще одного подібного централізованого насипного сховища вже для ДНАВ (30 траншей), потреби ущільненої глини (переважно бентонітової) складуть близько 0,77 млн т.

Захоронення КІ НСАВ Чорнобильського походження і, можливо, з АЕС ДП НАЕК «Енергоатом» на комплексі «Вектор» передбачається у сховищах трьох типів: тип-1 (ТРВ-1), тип-2 (ТРВ-2) і тип-3 (СОПСТРВ) з багатобар'єрною системою локалізації відходів, що включає глинистий компонент (у т. ч. бентоніт). Проектом комплексу «Вектор» передбачається спорудження 16 сховищ типу ТРВ-1 і 40 сховищ типу ТРВ-2.

Габарити сховищ типу ТРВ-1 – 254×93 м, типу ТРВ-2 – 170×72 м. Під основою сховища розміщується сорбційний пласт із ущільненої суміші бентонітової глини (1,95 т/м<sup>3</sup>) та дрібнозернистого піску (1:5) товщиною 1 м. Після укомплектування сховищ відходами поверх насипають верхній захисний шар (обвалочний) з глини (1 м). Потреби ущільненої глини для побудови сховищ типів 1 і 2 складуть близько 1 млн м<sup>3</sup> (~ 1,7 млн т).

Проектом 2 черги комплексу «Вектор» передбачається будівництво цілої низки сховищ для довгострокового зберігання довгоіснуючих РАВ, у тому числі, сховища для довгострокового зберігання осклованих РАВ, що повертатимуться з Російської Федерації після переробки відпрацьованого ядерного палива українських АЕС, установок з переробки РАВ чорнобильського походження і з майданчиків підприємств ДК «УкрГО «Радон».

Суттєвою проблемою буде осушення водойми-охолоджувача ЧАЕС, яке призведе до оголення радіоактивних донних відкладів і зміни радіоекологічної обстановки, як у самій водоймі, так і на прилеглий до неї території за рахунок зміни рівня ґрунтових вод. В цьому випадку використання глин перспективне.

Усі перераховані великі об'єкти поводження з РАВ мають різні характеристики, для яких необхідно розробити рецептури і внести зміни в уже існуючі комплекти бар'єрних сумішей. Натепер особливо актуальною є розроблення стандартизованих рецептур глинистих сумішей, властивості яких будуть протестовані в незалежних лабораторіях. Для адекватної і незалежної оцінки відповідності сумішей, що розробляються, вимогам безпеки, необхідно створити міжвідомчу експертну раду з незалежних спеціалістів різних галузей.

Використання сумішей бентонітових глин з піском, що нині широко застосовуються, дозволить створювати різні економічно обґрунтовані композиції компактованих глин з визначеними властивостями. Перспективними матеріалами для забезпечення безпеки сховищ в якості протифільтраційних екранів можуть бути модифіковані глинисті мінерали (фізичні, теплові, хімічні методи, метод піларирування), які сприяють адсорбції конкретних радіонуклідів

та рулонний геосинтетичний матеріал – бентомат (геотекстиль) [16, 17].

**Висновки.** На підставі проведеного аналізу світового та національного досвіду, щодо застосування бентонітової сировини і матеріалів на їх основі в атомній енергетиці України запропоновано здійснити наступні першочергові заходи, зокрема:

- створити електронну базу даних щодо глинистих порід України стосовно їх використання в атомній енергетиці, зокрема, як компонентів систем інженерних бар'єрів на об'єктах атомної енергетики для зберігання і захоронення РАВ у сховищах ДНАВ, які можуть бути спроектовані і створені на промайданчиках або прилеглих до АЕС територіях, виводу АЕС з експлуатації, створення поверхневих /приповерхневих сховищ РАВ різних типів і категорій на комплексі «Вектор»;
- розробити нормативно-правові документи, щодо технічних вимог стосовно глинистих матеріалів і їх сумішей, які можуть застосовуватися при проектуванні та створенні об'єктів атомної енергетики (хвости урановидобування, нові АЕС, шляхи транспортування РАВ, трубопроводи, сховища ДНАВ) з метою мінімізації можливих надзвичайних ситуацій;
- включити до Загальнодержавної програми і відомчих програм, що стосуються об'єктів поводження з РАВ, системні завдання для проведення експериментальних і модельних досліджень специфічних властивостей вітчизняних глин і виробів на їх основі для використання на об'єктах поводження з РАВ атомної енергетики і на комплексі «Вектор»;
- доцільно започаткувати створення Програми з розроблення і створення композицій глинистих матеріалів для забезпечення безпеки різних об'єктів поводження з РАВ атомної енергетики і комплексу «Вектор».

Впровадження запропонованих заходів дозволить внести суттєвий внесок в обґрунтування та забезпечення екологічної безпеки як об'єктів поводження з РАВ атомної енергетики, так і поверхневих /приповерхневих сховищ комплексу «Вектор», а також геологічного сховища.

**Література**

1. Алексахин Р. М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р. М. Алексахин, Л. А. Булдаков, В. А. Губанов и др. – Москва: ИздАТ, 2001. – 752 с.
2. Letter DSP TsPPROdatedNovember 28, 2017 №116 / 1482 (In Ukr.)
3. Кедровский О. Л. Захоронение радиоактивных отходов / О. Л. Кедровский, И. Г. Абдульманов, К. О. Авдеев. – М: МГГРУ, 2002. – 198 с.
4. Брэгг У. Л. Структура минералов / У. Л. Брэгг, Г. Ф. Кларингбулл. – М: Мир, 1967. – 390 с.
5. Дриц В. А. Геокристаллохимия породообразующих октаэдрических смектитов / В. А. Дриц, А. Г. Коссовская. // Литология и полезные ископаемые. – 1980. – №10. – С. 3–23.
6. Bergaya F., Theng B. K. G., Lagaly G. Developments in Clay Science. V. 1. Handbook of Clay Science. Amsterdam: Elsevier Science, 2006. 1224 p.
7. Дриц В. А. Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования / В. А. Дриц, А. Г. Коссовская. – М: Наука, 1990. – 214 с.
8. Грим Р. Э. Минералогия и практическое использование глин / Р. Э. Грим. – М: Мир, 1967. – 512 с.
9. Laine H. Long-Term Stability of Bentonite: A Literature Review (Working Report 2010-53) / H. Laine, P. Karttunen. – Olkiluoto, Finland: Posiva OY, 2010. – 132 p.
10. Karnland O. Mineralogy and sealing properties of various bentonites and smectite-rich clay materials (Technical Report TR-06-30). – Stockholm Sweden: Svensk Kärnbränslehantering AB, [Електронний ресурс] / О. Karnland, S. Olsson, U. Nilsson. – 2006. – Режим доступа до ресурсу: [www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-06-30.pdf](http://www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-06-30.pdf).
11. Мінеральні сорбенти для захисного шару приповерхневих сховищ радіоактивних відходів / І. Л. Колябіна, А. Г. Субботін, К. І. Деревська, В. О. Шумлянський. – К: Логос, 2011. – 208 с.
12. Мінеральні ресурси України. // К. Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». – 2018. – С. 271.
13. Перспективи використання природних смектитових глин України для створення геологічного сховища радіоактивних відходів / Б. Г. Шабалін, О. М. Лавриненко, П. О. Косоруков, С. П. Бугера. // Мінералогічний журнал. – 2018. – №4. – С. 65–78.
14. Engineered Barrier Process Report for the Safety Assessment SR- PSU, August 2014: Technical Report TR-14-04. - SKB, Stockholm, Sweden. - 237 p.
15. International Experience on Disposal of Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel A literature review SKB International Consultant AB June 2009 162 p.
16. Куртукова Л. В. Изменение свойств бентонитовых глин под действием различных активаторов / Л. В. Куртукова, В. А. Сомин, Л. Ф. Комарова. // Ползуновский вестник. – 2013. – №1. – С. 287–328.
17. Klopogge J. T., Duong L. V., Frost R. L. Review of the synthesis and characterization of pillared clays and related porous materials for cracking of vegetable oil to produce biofuels // Environmental Geology, March 3, published online. 2005. P. 1–36.

**References**

1. Aleksakhin, R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A., et.al. / Editors Ilin L.A. and Gubanov V.A. Considerable radiation accidents: consequences and protection measures, IzdAT, Moskov. 2001. 752 p.
2. Letter of State specialized enterprise “Central enterprise for Radioactive waste management” November 28, 2017 №116/1482, UA.
3. Kedrovskii O.L., Abulmanov I.G., Avdeev O.K. Disposal of radioactive waste, MGGRU. Moskov. 2002. 198 p.
4. Bregg U.L., Klaringbull G.F. Structure of minerals. Mir. Moskov.1967. 390 p.
5. Drits V.A., Kossovskaya A.G., Lithology and Mineral Resources, No.10, 1980. pp. 3-23.

6. Bergaya F., Theng B. K. G., Lagaly G. Developments in Clay Science. V. 1. Handbook of Clay Science, Elsevier Science. 2006. 1224 p.
7. Drits V.A., Kossovskaya A.G. Clay minerals: smectites, mixed layers formations. Nauka. Moskov.1990. 214 p.
8. Grim R.E. Mineralogy and practical application of clays translated from English by V.I. Finko and S.S.Chekina, Publ. House «Mir». Moskov.1967. 512 p.
9. Laine H., Karttunen P. Long-Term Stability of Bentonite: A Literature Review (Working Report 2010-53). Posiva OY. Olkiluoto, 2010. 132 p.
10. Karnland O., Olsson S., Nilsson U. Mineralogy and sealing properties of various bentonites and smectite-rich clay materials (Technical Report TR-06-30), Publ. of Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2006, 112 p. available at: [www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-06-30.pdf](http://www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-06-30.pdf).
11. Koliabina I. L., Subbotin A. H., Derevska K. I., Shumlianskyi V. O., Mineral sorbents for the protective layer of near-surface radioactive waste repositories. Lohos. Kyiv. 2011. 208 p.
12. Mineral Resources of Ukraine State Research and Production Enterprise «State Information Geological Fund of Ukraine». Kyiv. 2018. 271 p.
13. Shabalin B.H., Lavrynenko O.M., Kosorukov P.O., Buhera S.P. Mineral. Journal, Iss. 40, №4. 2018. pp. 65-78.
14. Engineered Barrier Process Report for the Safety Assessment SR- PSU, (Technical Report TR-14-04), Publ. of Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2014. 237 p.
15. International Experience on Disposal of Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel A literature review SKB International Consultant AB, Publ. of Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm. 2009.162 p.
16. Kurtukova L.V., Somin V.A., Komarova L.F. Polzunovsii Vestnik № 1, 2013. P. 287-328.
17. Kloprogge J. T., Duong L. V., Frost R. L. Environmental Geology. 2005. P. 1–36.

## ПЕРСПЕКТИВИ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ ЯК МАТЕРІАЛУ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПЕРЕШКОД ТА КОМПОНЕНТА ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН

Іващенко Т.Г.,<sup>1</sup> Гладіш А. В.,<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, 03035, м. Київ  
[emaa.dea@ukr.net](mailto:emaa.dea@ukr.net)

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. вул.Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ.  
[naska.gladysh@gmail.com](mailto:naska.gladysh@gmail.com)

Наведено результати аналізу сучасного стану поводження з багатотоннажним відходом хімічної промисловості – фосфогіпсом і результати власних теоретичних та експериментальних досліджень з пошуку екологічно прийнятних способів його утилізації. Змодельовані теплові процеси в системі «торф'яний пласт – перешкода з дисперсного фосфогіпсу», проведено експериментальні дослідження з виявлення впливу домішок дисперсного фосфогіпсу на умови теплового самонагрівання та самозагоряння торфу. За результатами досліджень висвітлена перспективність використання фосфогіпсу для запобігання, обмеження поширення та гасіння торф'яних, а також ландшафтних пожеж. **Ключові слова:** фосфогіпс, утилізація, торф'яні та ландшафтні пожежі, вогнегасні речовини, моделювання теплових процесів, протипожежні перешкоди, самозагоряння торфу.

**Perspectives of utilizing phosphogypsum as a material for fireproof barriers as well as a component of extinguishing agents. Ivashchenko T., Gladyshev A.** Article presents the results of analysis of the current state of handling the multi-tonnage waste of the chemical industry – phosphogypsum as well as the results of theoretical and experimental research in order to find environmentally sufficient methods of utilizing it. Thermal processes within the system “Peat layer - dispersed phosphogypsum barrier” have been simulated; experimental research has been conducted to determine whether impurities of dispersed phosphogypsum affect the conditions of thermal self-heating and self-combustion of peat. Research shows the prospects of using phospho-

gypsum for preventing, limiting the spread of and extinguishing peat and landscape fires. **Key words:** phosphogypsum, utilization, peat and landscape fires, extinguishing agents, thermal processes simulation, fireproof barriers, self-combustion of peat.

В Україні накопичено понад 60 млн т. фосфогіпсу – багатотоннажного відходу виробництва екстракційної фосфорної кислоти (мм. Суми, Рівне, Кам'янське, Вінниця та ін.), при цьому його обсяги постійно зростають, оскільки при виробництві 1 т. фосфорної кислоти утворюється 4-7 т. фосфогіпсу. Об'єкти накопичення та зберігання такого відходу призводять до довготривалого негативного впливу на екологічну безпеку прилеглих до них територій (вилучення земель із господарського користування, забруднення атмосферного повітря пилом, вимивання небезпечних сполук із забрудненням поверхневих водних об'єктів, ґрунтових вод тощо) [1].

Натепер відомі такі способи утилізації фосфогіпсу: виготовлення різноманітних будівельних матеріалів; застосування для усунення лужності і засоленості ґрунтів; використання для супутнього матеріалу для більш ефективного використання добрив; застосування складником мінерального наповнювача в паперовій і лакофарбовій промисловості; виробництві пластмас тощо. Проте, з різних причин лише незначна їх частина набула широкого застосування. Певні обмеження у використанні фосфогіпсу в будівництві та сільському господарстві обумовлені вмістом залишків фосфатної кислоти і фосфатних сполук.

Наразі середній рівень використання цього промислового відходу становить близько 2% [1]. Відтак пошук та обґрунтування екологічно прийнятних технологій утилізації фосфогіпсу залишається актуальною проблемою, розв'язання якої є підґрунтям щодо створення передумов підвищення екологічної безпеки об'єктів його накопичення та зберігання, а також прилеглих до них територій, що і було метою роботи.

В основу дослідження покладена ідея застосування фосфогіпсу для створення вогневих перешкод, а також його використання

як компонента вогнегасних речовин, ефективних для запобігання та гасіння ландшафтних (лісових та торф'яних) пожеж [4].

Із застосуванням програмного забезпечення ANSYS [5], за методикою математичного моделювання теплового впливу пожежі у торфовому пласті на протипожежну перешкоду, описаної у роботі [2], було змодельовано розподіл температури у системі «торф'яний пласт – перешкода з дисперсного фосфогіпсу», результати якого наведено на рис.1.

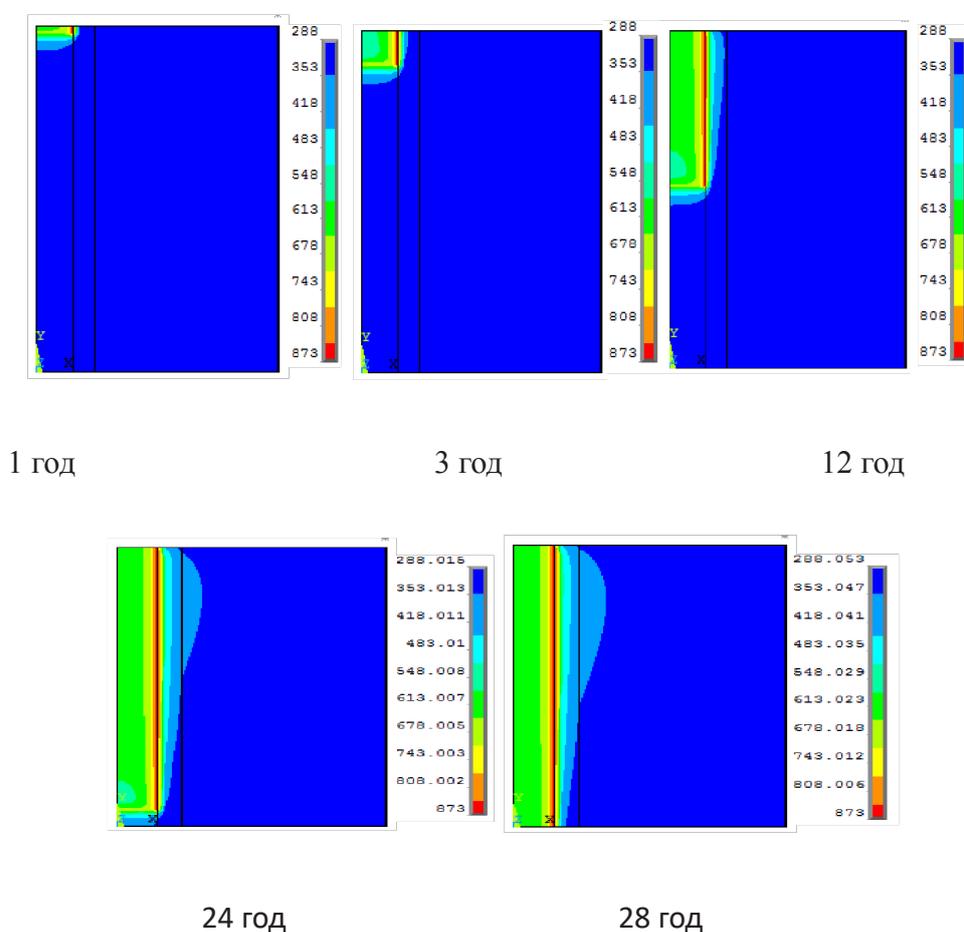


Рис. 1. Температурний розподіл (К) у торфовому пласті із протипожежною перешкодою (а) з фосфогіпсу товщиною 180 мм.

Як видно з рис.1, вигорання торфу відбувається на ділянці в за 28 год, а підвищення за межею протипожежної перешкоди з дисперсного фосфогіпсу до температури самозагоряння торфу може стримуватися протягом цього часу, що є достатнім для своєчасного реагування сил і засобів відповідних пожежних підрозділів.

На рис.2 наведено результати розподілу температур на межі захищеної ділянки торфового пласту і протипожежної перешкоди з фосфогіпсу фракцією менше 45 мкм та вологістю від 0.3 до 1.0% (мас), товщиною 180 мм у різні моменти часу розвитку підземної пожежі.

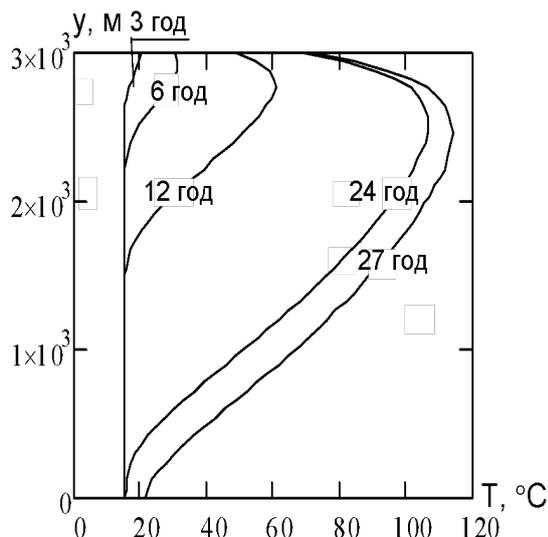


Рис.2. Розподіл температур на межі захищеної ділянки торфяного пласту і протипожежної перешкоди з фосфогіпсу (фракція <45 мм, вологістю від 0.3 до 1.0%) товщиною 180 мм у різні моменти часу розвитку підземної пожежі за даними моделювання

В результаті моделювання визначено залежність часу (год) до досягнення температури самозагоряння від товщини протипожежної перешкоди з фосфогіпсу. Аналіз отриманої залежності, можна стверджувати, що дана перешкода є ефективним засобом, який запобігає поширенню пожежі у торфовищі, оскільки температура у захищеній ділянці не піднімається до небезпечного значення протягом 30 годин за умов інтенсивного горіння торфу (рис. 2).

#### Параметри регресійної залежності товщини перешкоди від часу, який необхідно забезпечити для захисту торфяного пласту

Коефіцієнти регресії $t = a_0 + a_1b + a_2b^2 + a_3b^3$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$ , $\times 10^{-4}$	Похибка, %
Перешкода з фосфогіпсу	239.044	17.176	0.156	5.346	0.7

Отримана регресійна залежність має певні межі застосування. Дана залежність добре працює у інтервалах необхідного часу захисту ділянки торфяного пласту для від 15 год до 80 год.

Отримані результати аналогічні досягнутим у [2], в яких наповнювачем вогнезахисних перешкод задля запобігання поширення горіння торфяних пластів, пропонується річковий пісок та бентонітова глина.

При проектуванні протипожежних бар'єрів для торфяних пластів важливим параметром є їх товщина. Тому для її автоматизованого підбирання з огляду на проміжок часу, який треба забезпечити для захисту певної ділянки торфяного пласту, нами пропонується використовувати регресійний аналіз.

Для проведення регресійного аналізу використано поліном 3-го порядку, його вибір обумовлений виглядом кривої на графіку рисунку 3.

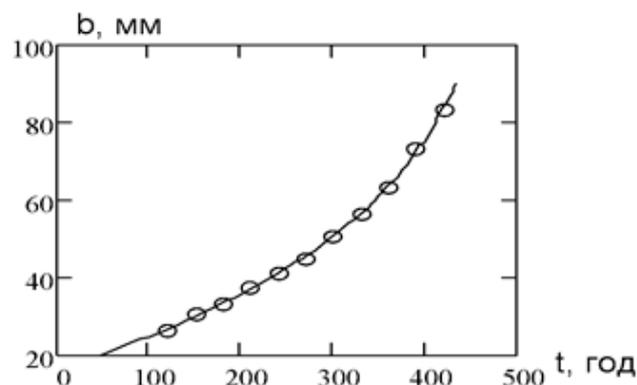


Рис. 3. Регресійна залежність товщини бар'єру з фосфогіпсу від необхідного часу захисту ділянки торфяного пласту

Параметри регресійної залежності були отримані методом Ньютона [6]. В таблиці 1 подані отримані параметри регресійного функціоналу.

Таблиця 1

Також проведені експериментальні дослідження з визначення умов теплового самонагрівання та самозагоряння зразка торфу, відібраного у Радехівському районі Львівської обл. (родовище Полуничне). Метою досліджень було виявлення впливу концентрації домішки фосфогіпсу до зазначеного зразка торфу на умови його самонагрівання та самозагоряння. Для проведення експериментальних досліджень з виявлення можливостей застосування

фосфогіпсу складником вогнегасної речовини використано окремі фракції фосфогіпсу менше 45 мкм з вологістю від 0.3 до 1.0% (мас), які було виготовлено на промислово-експериментальній технологічній лінії, потужністю 1000 т на рік, спроектованої, виготовленої та апробованої у 2016 р (науковий керівник Іващенко Т.Г.).

Дослідження проводилися в атестованій лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності ДСНС України за методикою, регламентованою вимогами щодо пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів [3].

Суть методики визначення температури самозагоряння полягає у введенні певної маси досліджуваної речовини (торфу) в нагрітій об'єм робочої камери та оцінці результатів випробування. Змінюючи температуру випробування, знаходили її мінімальне значення, за якої відбувається самозагоряння зразків торфу.

Методом послідовних наближень визначали мінімальну температуру робочої камери, за якої відбувається самозагоряння зразку і горіння продовжується понад 5 с, а за температури на 10 °С менше – спостерігається відсутність горіння.

За температуру самозагоряння дослідного зразка прийняли середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10 °С, при цьому за однієї з них спостерігається самозагоряння 3-х зразків, а за іншої – тричі зафіксовано відсутність самозагоряння.

Дослідження умов теплового самозагоряння проводились в електричній сушильній шафі 2В-151 місткістю робочої камери 40 дм<sup>3</sup> з терморегулятором, що дозволяє підтримувати постійну температуру від 60 °С до 250±3 °С.

Для проведення експериментів з корозійностійкого металу були виготовлені кошики кубічної та циліндричної форм висотою 35, 50, 70, 100, 140 мм (по 10-ть шт. кожного розміру) з кришками, товщина стінки кошика – (1,0 ± 0,1) мм., діаметр циліндричного кошика рівний його висоті. Загальний вигляд кошиків з дослідними зразками торфу всередині наведено на рисунку 4.



Рис. 4. Загальний вигляд дослідних зразків торфу в кошиках для визначення умов теплового самозагоряння

Для проведення досліджень були використані термоелектричні перетворювачі ТХА (3 шт) з максимальним діаметром робочого спаю не більше 0,8 мм.

Термопари встановлювали так, щоб робочий спай однієї контактував із зразком та розташовувався в його центрі, другий – стикався із зовнішньою стороною кошика, третій – знаходився на відстані (30 ± 1) мм від стінки кошика. Робочі спаї всіх трьох термопар розташовувались на одному горизонтальному рівні, відповідному середній лінії термостата. Схема розташування термопар представлена на рисунку 5.

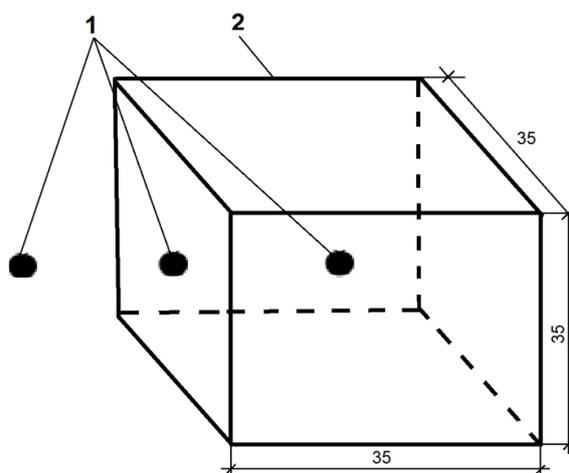


Рис. 5. Схема розташування термопар у дослідному зразку де

1 – термопари, 2 – кошик для досліджень

Кошик заповнюють дослідним зразком, встановлюють термоелектричні перетворювачі

відповідно до схеми, що представлена на рисунку 5. Кошик закривають кришкою і розміщують його в центр термостата, нагрітого до заданої температури випробування. Зразок

витримують в термостаті до самозагоряння, або його відсутності протягом часу, зазначеного в таблиці 2.

Таблиця 2

### Тривалість перебування кошиків із дослідними зразками торфу у термошафі

Висота кошиків зі зразками торфу, мм	Тривалість перебування до самозагоряння, год
35	6
50	12
70	24
100	48
140	96

За самозагоряння приймали підвищення температури зразка (за показами термоелектричного перетворювача №1 до  $(325 \pm 50)$  °С. Якщо при першому випробуванні самозагоряння не відбулося протягом проміжку часу, зазначеного в таблиці 1, то наступне випробування з новим зразком такого ж об'єму проводили за вищої температури. Якщо ж при першому випробуванні відбулося самозагоряння, то наступне випробування з новим зразком такого ж об'єму проводять при нижчій температурі.

Випробування повторюють за різних температур із зразками однакового об'єму до досягнення мінімальної температури, за якої відбувається самозагоряння, а за температури на 10 °С меншій за мінімальну, самозагоряння не відбувається. Середньоарифметичне значення цих температур приймають за температуру самозагоряння зразка цього об'єму.

В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено вплив вмісту фосфогіпсу на температурний розподіл у зразках торфу та умови його самонагрівання та самозагоряння.

Отримані дані дали можливість порівняти теплові умови у досліджуваних зразках, та оцінити ефективність застосування фосфогіпсу для припинення процесів самонагрівання та самозагоряння торфу в торфових полях. Для оцінки впливу фосфогіпсу на теплові умови в торфовому пласті були проведені експериментальні дослідження із введенням до маси кожного досліджуваного зразка 10% подрібненого фосфогіпсу. Дослідження проводилося за вищезгаданою методикою.

Результати дослідження засвідчили, що наявність домішки сповільнює процеси самозагоряння торфу. На рисунках 6 і 7 проілюстровано пригнічення процесів самонагрівання, і, як наслідок, самозагоряння у зразку масою 509 г., (крива T1 на графіку демонструє температурні процеси в термошафі, що реєструє термopара за межами кошика (контроль), T2 – температурні процеси в центрі кошика, T3 – температурні процеси біля стінки кошика).

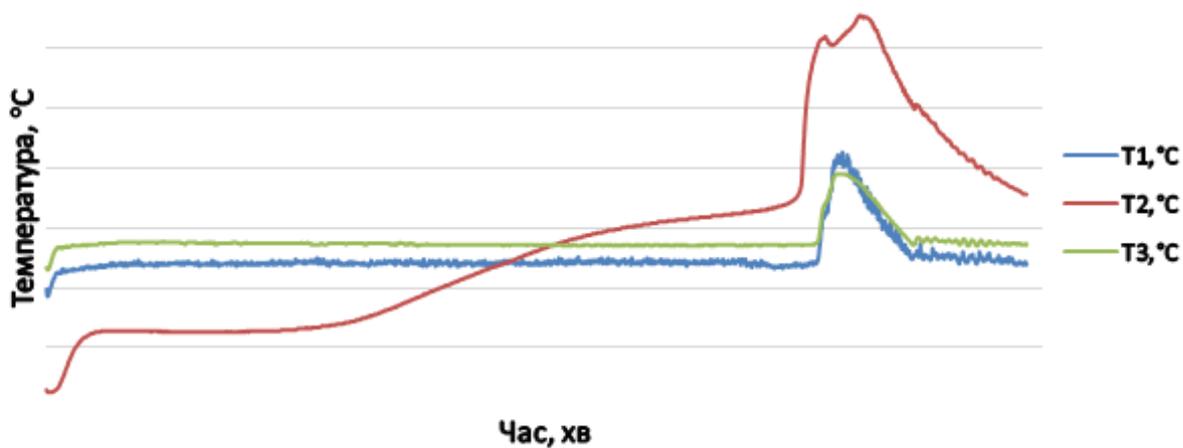


Рис. 6. Теплові процеси в досліджуваному зразку (чистий торф у кошику 100x100 мм). спостерігається самозагоряння

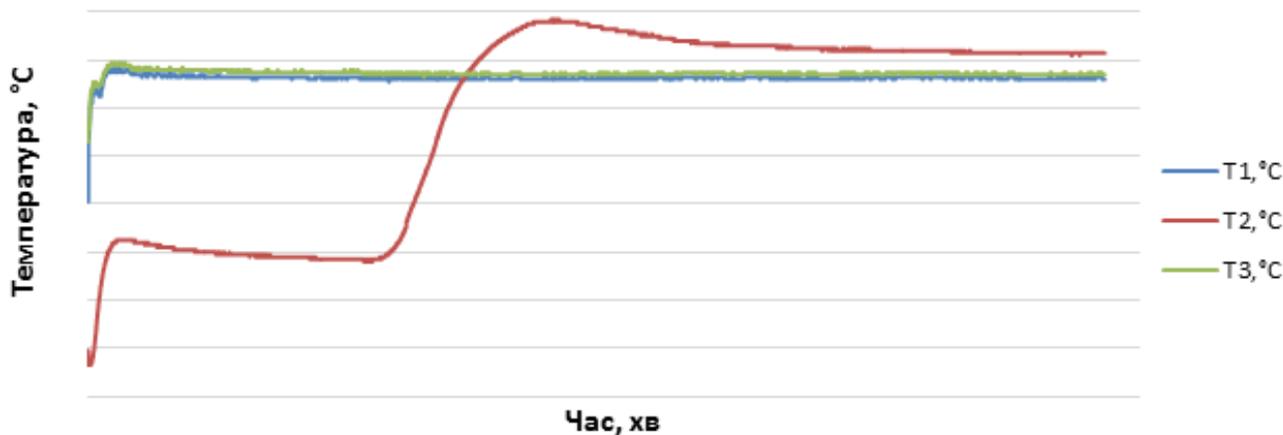


Рис. 7. Теплові процеси в досліджуваному зразку (торф із домішкою фосфогіпсу в кошику 100x100 мм). самозагоряння не відбулося

Пригнічення процесів самонагрівання спостерігалися в усіх досліджуваних зразках. Для представлення обраних зразок, що містився в кошику висотою і шириною стінок 100 мм, як найбільш репрезентативний, оскільки зі збільшенням об'єму тари, збільшувалася насипна щільність зразка, що чинило вплив на інтенсивність перебігу процесів самозагоряння.

За результатами досліджень, було виявлено, що самозагоряння обраних зразків торфу відбувалося за температури  $325 \pm 50$  °C, як видно з Рис.6 (крива T2), при цьому в зразках, що містили 10% домішки фосфогіпсу, досягнення температури самозагоряння не спостерігалось (Рис.7).

**Висновки.**

1. За результатами математичного моделювання розподілу температури у системі торф'яний пласт – протипожежна перешкода товщиною до 180мм з фосфогіпсу дисперсністю <45 мкм та вологістю від 0.3 до 1.0% показано, що такі перешкоди є ефективним засобом запобігання поширення пожежі у торфовищі.
2. Встановлена залежність товщини перешкоди з фосфогіпсу від необхідного часу для захисту ділянки торфового пласту, що дозволяє дану залежність враховувати під час проектування відповідних протипожежних заходів.
3. За результатами експериментальних досліджень умов самонагрівання та самозагоряння торфу, відібраного з родовища Полуничне

у Радехівському районі Львівської обл., встановлено, що введення до нього не менше 10% (мас) домішки фосфогіпсу дисперсністю 45 мкм, вологістю від 0.3 до 1.0% призводить до пригнічення процесів самонагрівання та самозагоряння зразків торфу.

4. Отримані результати свідчать про ефективність застосування подрібненого фосфогіпсу як складової композиції, придатної до гасіння торфових пожеж та обмеження їх розповсюдження, що дає підставу для проведення подальших польових випробувань, із застосуванням технічних засобів пожежогасіння.

### Література

1. Іващенко Т.Г. Фосфогіпс (екологічно безпечні шляхи утилізації та використання/ Т.Г. Іващенко, О. І. Бондар, Л. П. Новосельська, В. І. Винниченко. К, 2016.
2. Мигаленко К.І. Розвиток пожеж на торф'яниках та торфорозробках/ К.І. Мигаленко, Є.С. Ленартович, С.В. Поздєєв, М.М. Семерак– Вид. 1-е. – Черкаси. 2016. – 140 с.
3. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.– М.: Из-во стандартов, 1989. – 42 с.
4. Гладис А.В. Деякі екологічно прийнятні шляхи утилізуваня фосфогіпсу/ Гладис А.В., Іващенко Т.Г.// Проблеми екологічної безпеки: XIV міжнародна науково-технічна конференція, 12–14 жовтня 2016 р.: збірник тез. – К., 2016. – С.27.
5. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.
6. Власова Е.А. Приближенные методы математической физики: [учебн. для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко] / Е.А. Власова, В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин.– М. МГТУ им. Баумана, 2001. – 700 с.

УДК 622.17:504.064.4

## ОБЛАДНАННЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНО ПРИЙНЯТОГО СПОСОБУ РОЗБИРАННЯ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Мнухін А.Г.<sup>1</sup>, Гітуляр А. А.<sup>2</sup>, Печений В.Л.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інженерний інститут Запорізький національний університет  
пр. Соборний, 226, 69006 м. Запоріжжя,  
anatoly.mnukhin@gmail.com

<sup>2</sup>Запорізький національний університет  
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя  
nastionush@gmail.com

<sup>3</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, 03035, м. Київ  
emaa.dea@ukr.net

Розглянута одна з найскладніших проблем у сфері утилізації відходів вугільних шахт, а саме: забезпечення безпеки та екологічної чистоти методів переробки технологічної сировини. Проаналізовано різні методи та обладнання, вказано основні недоліки застосовуваних дотепер технологій, намічені шляхи оптимізації цих процесів. На підставі результатів проведення аналізу світового досвіду та власних експериментів було встановлено, що розробка безпечно-го обладнання по розбиранню породних відвалів на базі електрогідравліки є дуже перспективним напрямком. **Ключові слова:** породні відвали, електрогідравліка, рідкоземельні елементи, екологічна безпека, довкілля.

**New generation equipment for ensuring environmentally safe dismantling of mining waste dumps. Mnukhin A., Hituliar A. Pechenyi V.** One of the biggest problems for recycling mining waste is the environmental safety of the used methods. The article analyzes different methods of impacting mining waste dumps. The main drawbacks of currently used technologies are pointed out and optimization strategies are proposed. Suffice to say that the development of safe equipment for dismantling mining waste dumps on the basis of electro-hydraulics is a very promising direction. **Key words:** mining waste dumps, electro-hydraulics, rare-earth elements, safety, environment.

**Постановка проблеми.** Останнім часом глобальний характер набули питання

безвідходного виробництва, а також можливість зниження темпів накопичення відходів гірничої промисловості на земній поверхні. Вони пов'язані з необхідністю розробки та трансформації промислового обладнання для їх подальшої переробки [1]. Цим питанням присвячені теоретичні та прикладні дослідження в яких представлені результати експериментів фахівців різних наукових напрямів. При цьому, запропоновані рішення зводяться до комплексної переробки наявних породних відвалів і знаходяться в межах технічних можливостей сучасного виробництва, наявності інвестицій і економічної доцільності масштабної утилізації вторинних ресурсів в промислових умовах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Слід зазначити, що питання раціонального використання відходів вуглевидобутку та еколого-економічна оцінка наслідків їх залучення в господарський обіг розглядалося в роботах професора Недодаєвої Н. Л. [2] та академіка Амоши А. І. [3], але при цьому не приділялося достатньо уваги еколого-економічної стратегії розвитку вугледобувних підприємств. Питаннями екологізації процесів вуглевидобутку також розглядалися в роботах професорів Саллі В. І. [4] та Бардася А. В. [5]. В роботі професора Вагонової А. Г. [6] були вивчені особливості формування і використання ресурсного потенціалу промислових відходів роботи вугільних шахт в умовах реструктуризації національної вугледобувної промисловості.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Оскільки деякі технології з переробки породних відвалів є небезпечними, не економічними та малоефективними. Авторами, були розроблені та запропоновані нові інноваційні методи та обладнання для комплексної переробки відвалів, які виключають вищезгадані недоліки. Запропоновані методи і пристрої базуються на основі електрогідрравлічного впливу (на перетворенні енергії) накопиченої в електричних конденсаторах електрогідрравлічної установки, в енергію дугового розряду, здатного виконувати корисну роботу, наприклад, руйнувати масив терикону.

Виходячи з вищезгаданого, розроблено обладнання нового покоління з переробки териконів, що базується на екологічно чистих методах електрогідрравліки. Для побудови єдиної комплексної системи переробки породних відвалів доцільно використовувати єдині високоефективні методи, що базуються на загальній безпечній технологічній електрогідрравлічній основі. Саме в цьому випадку виробництво буде найбільш вигідним, зокрема з точки зору, економіки, екологічної безпеки та технологічності практичної реалізації.

**Метою дослідження** є створення та апробування обладнання нового покоління для забезпечення якісного розбирання породних відвалів екологічно прийнятним способом.

**Основні результати дослідження.** На теперішній момент інтенсивного розвитку вугільної промисловості класифікуються як зони підвищеної екологічної небезпеки. Однією з головних її складових є відвали гірських порід, які десятиліттями утворювалися в безпосередній близькості від основного виробництва. Вони виділяють в атмосферу до 70 тис. т шкідливих речовин на рік. Відомо, що терикони займають площу близько 165 тис. га, що становить 2,5% території України. За даними Інституту екологічної гігієни і токсикології України, щороку на одного українця припадає виділення шкідливих речовин понад 95 кг. Через діяльність вугледобувних підприємств екологічне навантаження на біосферу Донбаського регіону найбільше у Європі. Таким чином, сотні працюючих шахт є основним чинником забруднення навколишнього середовища.

За останні 15 років багато шахт припинили діяльність або були заплановані для закриття. Для багатьох шахт закриття відбувається передчасно: до повного виробітку вугільних запасів і без розробки необхідних планів щодо закриття, які враховують питання безпеки, екологічної та соціальної відповідальності [7]. Також невіршеним залишається питання технологічних відходів вугледобувних і вуглепереробних підприємств.

Породний відвал «зі стажем» – це не тільки джерело екологічних проблем, а й природна збагачувальна фабрика для отримання цілого набору природних елементів. У той же час переробка, використання або утилізація породи дозволить звільнити значну площу земної поверхні, отримати сировину для подальшого використання в будівництві, а також поліпшити стан навколишнього середовища [8]. Рівень небезпеки, яку несуть відходи гірничодобувних підприємств, можна істотно знизити за рахунок їх переробки або використання в певних технологічних циклах. Переробка териконів дозволить отримати вугільний концентрат, який можна використовувати у виробничих процесах. Крім того, відомі технології вилучення кольорових і благородних металів з відвалів. Україна здійснює розроблення технології отримання алюмінієвих сплавів з породних відвалів, оскільки в шахтних териконах вміст алюмінію досягає 18-25% [9].

Вчені Макіївського державного науково-дослідного інституту з безпеки робіт у гірничій промисловості (МакНДІ) зробили висновок про можливість вилучення з породи мінералів заліза. В процесі електромагнітної сепарації вони майже повністю вилучаються. Породна маса відвалів шахт Донбасу може містити від 10 до 46% вугілля, до 15% глиноземів, до 20% оксидів кремнію та заліза. За власними даними, вміст рідкісноземельних елементів в 1 т породи досягає: германію – 55 г, скандію – 20 г, галію – 10 г. Наприклад, скандій доцільно видобувати починаючи з 10 г на тонну. Загальна ж кількість рідкоземельних елементів у відвалах може складати до 230-260 г/т. Але не всі породні відвали ідентичні та можуть бути джерелом виділення корисних компонентів, або ж нести явну екологічну загрозу.

Відомо, що відходи вугледобувних та вуглепереробних підприємств багато з яких сформовані ще на початку минулого століття, мають різний склад і протягом десятків років піддавалися фізико-хімічним перетворенням. Їх не можна розглядати як скупчення гірської маси з властивостями і складом, характерними для первинно видобутого матеріалу. Нині, постала необхідність в додатковому дослідженні і випробуванні всіх породних відвалів. Вивчення будь-якого дослідження вимагає індивідуального підходу з урахуванням місця розташування, умов формування, стану та інших факторів. Для того, щоб однозначно оцінити можливість переробки породи та придатність для промислового використання, необхідно провести детальне вивчення складу терикону й подальші дослідження отриманих проб.

Для всебічного вивчення породних відвалів рекомендується проведення наступного комплексу робіт:

- Збір даних з історії формування відвалу і геологічної документації. Передбачається отримання інформації, за даними якої можна зробити висновок про співвідношення порід, які потрапили у відвал за весь період його існування. Це можуть бути геологічні розрізи при розтині виробок, геологічні замальовки тощо.
- Попереднє вивчення складу породних відвалів за заданою схемою та відбір характерних зразків. Отримання даних про наявність того чи іншого корисного компонента відповідно даних мікроскопічних досліджень та результатів випробування. Розбракування відвалів за перспективністю подальшого використання. Оцінка ефективності розвідувальних виробок і обсягів валових проб.
- Оцінка та випробування перспективних відвалів, проведення комплексу досліджень і опрацювання отриманих даних, складання звіту з описом і характеристикою досліджуваного породного відвалу.

У гірничій і хімічній галузях промисловості, особливо при виконанні низки таких технологічних операцій, пов'язаних із вторинною переробкою сировини, доводиться виконувати комплекс робіт, спрямованих на розбирання породних відвалів, наприклад, териконів вугільних шахт. Тому для того, щоб впровадити вищезгаданий комплекс робіт, було запропоновано роз-

робити обладнання нового покоління для забезпечення безпечної розборки породних відвалів. Гірнична маса, що міститься в цих териконах за багато десятиліть перебування у відкритій атмосфері також може бути ущільнена до дуже високих значень твердості й міцності.

Традиційно, подібні роботи можуть виконуватися за допомогою вибухових робіт і матеріалів (ВР та ВМ), поводження з якими пов'язано з підвищеною небезпекою і, крім того, може бути взагалі принципово неможливо, якщо терикон, що підлягає розбиранню, знаходиться поблизу побутових і промислових будівель через розліт частин оброблюваного об'єкта, сильних звукових та інших негативних впливів і, як наслідок, жорстких вимог безпеки.

Відомі інші, більш безпечні методи руйнування кам'яних брил і негабаритів, але вони малопродуктивні [10]. З метою підвищення продуктивності праці при одночасному збільшенні безпеки розкривних робіт, пропонується автоматизований пристрій, що реалізує метод електрогідролічного впливу на об'єкт обробки.

На рис. 1 показано розроблений пристрій [11], який включає в себе самохідне (бажано на гусеничному ході) шасі 1, забезпечене по виходах 1 і 2 маніпуляторами 2 і 3, пов'язаними відповідно з електродною системою 4 електрогідролічної установки 5 і бурильною установкою 6, пов'язаної з буром 7. По управлінню маніпулятори 2 і 3, а також сама бурильна установка 6 відповідно пов'язані з цифро-аналоговими перетворювачами 8, 9, 10, пов'язаними в свою чергу з виходами 1, 2 і 3 комп'ютера 11 з лімітером А, з виходу 4 якого є зв'язок через цифро-аналоговий перетворювач 12 з електрогідролічною установкою 5.

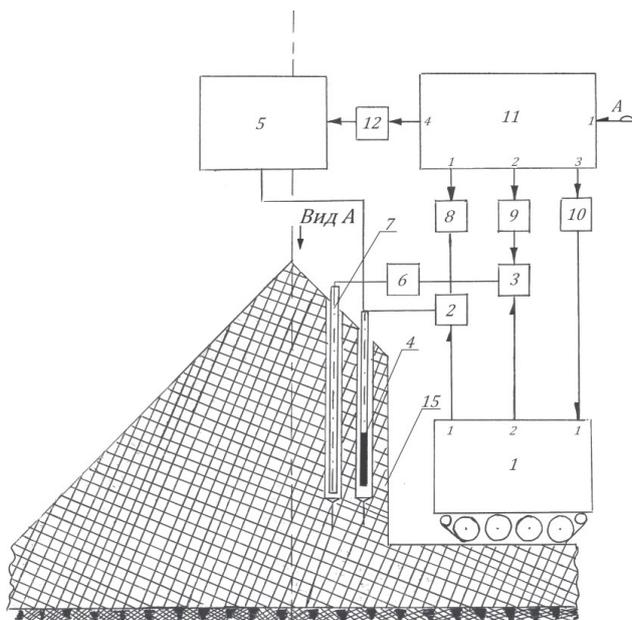


Рис.1. Пристрій для розбирання породних відвалів

Загальний вигляд на отвори, пробурені в масиві териконів (породі) в яку підлягає установка електродних систем 4, показані на рис. 2, як позиція 13, тут як позиція 14 показані пробурені свердловини для наступних циклів операцій. Відламана при кожній операції брила 15 (рис.1, 2).

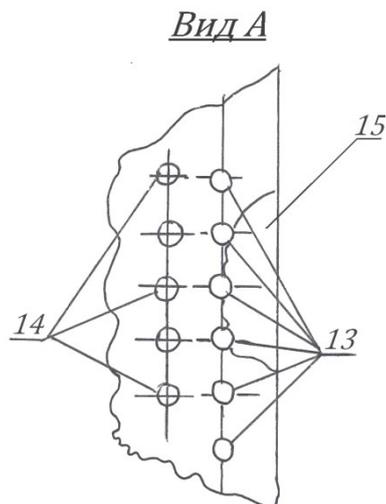


Рис. 2. Загальний вигляд отворів пробурених в масиві териконів установкою для розбирання породних відвалів

Працює пристрій наступним чином. Від лімітера А відбувається запуск комп'ютера 11, після чого через цифро-аналогові перетворювачі

чі 12, 8, 9 і 10 відбувається включення електрогідравлічної установки 5 пересування в вихідне місце пристрою 1, встановлення маніпуляторів 3 бурильної установки 6 і маніпулятора 2 установки кабелю з електродною системою 4 в пробурену свердловину, після чого туди наливається вода (насос до складу установки не входить і на рис.1 не показаний). Далі по команді з комп'ютера через цифро-аналоговий перетворювач відбувається спрацювання електрогідравлічної установки 5, в результаті чого на електроді 4, відбувається високовольтний силовий розряд струму (тисячі ампер!), і в шпурі, де він встановлений, вода перетворюється в пар і тиск зростає до  $(20 \div 30) \cdot 10^3$  атмосфери, в результаті чого брила 15 відривається від основної частини.

Після збирання цієї брили вантажними і транспортними засобами (на рис. 1 не показані), по черговій команді, що надходить з комп'ютера 11, через цифро-аналогові перетворювачі 8, 9 і 10 переміщається шасі 1, забурюється бурильною установкою 6, попередньо встановленою за допомогою маніпулятора 3 і далі в свердловину знову вставляється електрод 4 і процес повторюється.

**Висновки.** Породні відвали вугледобувних та вуглезбагачувальних підприємств необхідно сприймати не як безликі відходи, а як об'єкти, що несуть в собі перспективу подальшої переробки для використання, за рахунок чого можна істотно знизити негативне навантаження на екологічний стан промислових районів. Це дозволить в майбутньому уникнути багатьох проблем, пов'язаних зі здоров'ям людей і екологічною безпекою; мінімізувати соціальні та економічні наслідки ситуації, що склалася; захистити навколишнє середовище і ресурси від фізичного і хімічного руйнування.

Застосування розробленого пристрою для розборки породних відвалів забезпечує уникнення розльоту частин оброблюваного об'єкта, понад нормативних звукових і інших негативних впливів, які раніше відбувалися у разі проведення робіт з використанням вибухових матеріалів, поводження з якими пов'язано з підвищеною небезпекою, а також забезпечило екологічно прийнятний процес розборки терикону.

## Література

1. Горная энциклопедия. Советская энциклопедия. – Москва, 1986. – 576 с. – (Т.2).
2. Недодаева Н. Л. Эколого-экономическая политика природопользования в условиях специфики горного производства: монография / Н. Л. Недодаева. – Донецк: НАН Украины, Институт экономики промышленности, 2006. – 356 с.
3. Амоша О. І. Проблеми реструктуризації промисловості в контексті сталого розвитку. Проблеми сталого розвитку України. / О. І. Амоша. – 1998. – С. 344–353.
4. Салли В. И. Особенности инвестиционной политики в угольной промышленности. / В. И. Салли, А. Г. Вагонова, Б. Л. Райхель. // Проблемы развития внешнеэкономических связей и привлечения иностранных инвестиций: региональный аспект.. – 2003. – С. 392–396.
5. Бардась А. В. Розробка методичних рекомендацій щодо визначення економіко-екологічного потенціалу вугільних шахт / А. В. Бардась. // Економічний простір: зб. наук. праць. Хмельницьк. – 2010. – №37. – С. 309–322.
6. Вагонова О. Г. Управління ресурсним потенціалом вугільних шахт/ за ред. О.Г. Вагонова, Ю. С. Папіж.: навч. посіб. / О. Г. Вагонова. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – 178 с.
7. Пек Ф. Оценка рисков в Донецком бассейне. Закрытие шахт и породных отвалов / Филипп Пек. – Киев, 2008. – 171 с.
8. Леонов П. А., Сурначев Б. А. Породные отвалы угольных шахт. Москва, 1970.112с.
9. Мнухін А. Г. Пристрій впливу на пористе середовище породних відвалів / А. Г. Мнухін, Н. О. Мнухіна, А. А. Гітуляр. // «ВЧЕНІ ЗАПИСКИ ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені В.І. Вернадського Серія «Технічні науки» Том 29 (68). , Частина 2. – 2018. – №3. – С. 106–109.
10. Технологии XXI века: Электрогидравлика. Том 1. / [А. Г. Мнухін, А. М. Брюханов, И. В. Иорданов та ін.]. – Макеевка – Донецк: ВИК, 2012. – 432 с.
11. Пристрій для розробки породних відвалів: пат. 134171 Україна: E02F 5/30(2006.01);

E21C 37/18(2006.01). № u 2018 10625; заявл. 29.10.2018. Опубл. 10.05.2019; Бюл. № 9.

## References

1. Mountain Encyclopedia. Soviet Encyclopedia(1986). Moscow. pp 576 с.
2. Nedodayeva N. L. (2006), Ecological and economic policy of environmental management in terms of the specifics of mining production: monograph/ N. L. Nedodayeva, NAS of Ukraine, Institute of Industrial Economics, Donetsk.pp.356.
3. Amosha O. I. (1998), «Problems of industrial restructuring in the context of sustainable development». Problems of sustainable development of Ukraine. pp.344-353.
4. Sally VI, Vagonova AG, Reichel B. L.(2003),» Features of investment policy in the coal industry.» Problems of development of foreign economic relations and attraction of foreign investments: regional aspect. pp. 392–396.
5. Bardas A.V.(2010),» Development of methodological recommendations for determining the economic and ecological potential of coal mines «. Economic Space: Sb. sciences works. no. 37, Khmelnytsky. pp. 309–322.
6. Vagonova O.G. (2013), Managing the resource potential of coal mines / ed. O.G. Vagonova, Yu. S. Pap.: Teach. manual. National Mining University. Dnipropetrovsk.pp.178.
7. Philip Peck. (2008), Risk assessment in the Donets Basin. Closing mines and waste dumps. Kiev. pp. 171.
8. Leonov P. A., Surnachev B. A.(1970), Rock heaps of coal mines. Moscow. pp. 112.
9. Mnuhin. A.G., Mnuhina N.O., Hitulyar A.A. (2018), «The device of influence on porous environment of waste heaps». TEACHINGS OF THE TAVRISK NATIONAL UNIVERSITY named after VI Vernadsky, Series «Technical Sciences» Vol. 29 (68). , Part 2. - 2018. - №3.
10. Mnuhin A. G., Bryuhanov A. M., Iordanov I. V.(2012), Tehnologii XXI veka: Tom 1. Elektrogidravlika, Makeevka-Donetsk. pp. 432.
11. Mnuhin. A.G., Mnuhina N.O., Iordanov I. V., Hitulyar A.A. Patent. 134171 Ukraine, MPK (51), E02F 5/30(2006.01); E21C 37/18(2006.01). A device for the development of waste heaps, DerzhNDIHP, no. u 2018 10625; Declared. 29.10.2018.; Published 10.05.2019, Bull. no. 9.

# МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ДОБУВНОГО ВИРОБНИЦТВА СУБ'ЄКТАМИ ГОСПОДАРЮВАННЯ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Буглак О.В., Бойко К.Є.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, 03035, м. Київ  
olegulytsky@gmail.com

Розроблено методологічні підходи та запропоновано схему управління процесами екологізації добувного виробництва шляхом наукового обґрунтування необхідності застосування методу «seven new tools» (у тому числі матриць пріоритетів, діаграми зв'язку технології добування з природою). Проаналізовано рівні геолого-екологічні ризики, які виникають у геологічному середовищі де відбувається розробка корисних копалин. Запропоновано методику аналізу ієрархій факторів впливу на геологічне середовище у гірничовидобувних регіонах.

**Ключові слова:** управління процесами екологізації добувних виробництв, метод аналізу ієрархій, матриця попарних порівнянь, пріоритет, діаграма зв'язку, рекультивация, геолого-екологічні ризики.

**Subsoil use: how entities can make mine development more environmentally friendly.** Ulytsky O., Yermakov V., Lunova O., Buglak O., Boiko K.

We developed methodological approach and management model for making mining more environmentally friendly by scientifically basing the need to use method «seven new tools» (including priority matrices as well as diagrams linking extraction technology and nature). We analyzed equal geological and ecological risks that arise in geological environment where the mine development takes place. We propose a method of analysing hierarchies of factors of influence on the geological environment in the mining regions.

**Key words:** managing process for making mining more environmentally friendly, method of analysing hierarchies, matrix of pairwise comparisons,

priority, linking diagram, reclamation, geological and ecological risks.

**Метою роботи** є обґрунтування ефективності механізму державного регулювання в сфері надкористування під час планованої діяльності суб'єктами господарювання та дотримання ними вимог законодавства України у частині забезпечення сучасних вимог екологічної безпеки.

Основні законодавчі та нормативно-правові акти екологічного регулювання в Україні ухвалені впродовж 1991-1995 років. Основними з яких є: закони України «Про охорону навколишнього середовища» (1991 р.), «Про природно-заповідний фонд» (1992 р.), «Про охорону атмосферного повітря» (1992 р.), «Про тваринний світ» (1993 р.), «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» (1995 р.); кодекси України –земельний, лісовий, про надра, водний; ратифіковані міжнародні екологічні угоди тощо.

Ці законодавчі та нормативно-правові акти визначають основні засади діяльності підприємств щодо захисту довкілля, використання різноманітних природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги, збереження унікальних територій та природних об'єктів.

18 грудня 2017 року набув чинності Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-VIII від 23 травня 2017 року, який встановлює правові та організаційні засади оцінки впливу на довкілля (ОВД), спрямованої на запобігання йому шкоди, забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, раціонального використання і відтворення природних ресурсів

у процесі прийняття рішень про провадження господарської діяльності, з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів [1].

Оцінка впливу на довкілля (ОВД) – це процедура, ключовими питаннями якої є:

- підготовка суб'єктом господарювання звіту з ОВД;
- проведення громадського обговорення (слухання);
- аналіз уповноваженим органом інформації, наданої у звіті з ОВД, будь-якої додаткової інформації, яку надає суб'єкт господарювання, а також інформації, отриманої під час громадського обговорення, іншої інформації;
- надання уповноваженим органом мотивованого висновку з оцінки впливу на довкілля, що враховує результати аналізу;
- врахування висновку з оцінки впливу на довкілля у рішенні про провадження планованої діяльності.

Загальновідомо, що виробничі потужності з видобутку корисних копалин є обмеженими та рідкісними. Саме тому державне регулювання процесів екологізації добувального виробництва є необхідним. Постала гостра необхідність у додаткових дослідженнях у сфері удосконалення системи державного управління та регулювання процесами відновлення екологічно небезпечних територій які зазнали шкідливого впливу планованої діяльності суб'єктами господарювання.

Користування надрами, з метою розробки корисних копалин, можна віднести до ключової галузі економіки. За статистичними даними у 2018 році обсяг реалізації продукції добувної промисловості та розроблення кар'єрів складав 13 % або 391,05 млрд грн. [2].

Висновок з оцінки впливу на довкілля входить до переліку документів дозвільної системи, який затверджений Законом України «Про Перелік документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності» зокрема:

1. висновок державної експертизи землевпорядної документації щодо об'єктів, які підлягають обов'язковій державній експертизі;

2. дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами;
3. дозвіл на виконання будівельних робіт;
4. дозвіл на зняття та перенесення ґрунтового покриву земельних ділянок;
5. дозвіл на початок виконання робіт підвищеної небезпеки та початок експлуатації (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки;
6. дозвіл на спеціальне водокористування;
7. рішення про передачу у власність, надання у постійне користування та оренду земельних ділянок, що перебувають у державній або комунальній власності;
8. сертифікат про прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів, що належать до IV та V категорій складності;
9. спеціальний дозвіл на спеціальне використання лісових ресурсів (лісорубний квиток, ордер, лісовий квиток);
10. спеціальні дозволи на користування надрами у межах конкретних ділянок.

Нині формується принципово нова філософія управління в сфері добувального виробництва, в основі якої лежить система або критерії якості. Система якості є сукупністю завдань, які вирішуються на різних етапах добувального виробництва (ДВ) і методів їх реалізації. Стимули, що мотивують впровадження ефективних інструментів раціонального надрокористування в Україні та за кордоном, дещо відрізняються. Для західних підприємств є першочергове бажання поліпшити свій імідж та увійти до когорти лідерів на міжнародному ринку. Для українських підприємств, це прагнення отримати податкові та інші пільги. Оскільки в Україні для надрокористувачів ще не сформувалося макросередовище, яке б спонукало їх приймати дієві управлінські рішення, нині забезпечення процесу екологізації ДВ набуває дедалі більшого значення в умовах конкурентної боротьби, коли якість забезпечує життєздатність підприємства (у тому числі, якість екологізації ДВ).

Для ефективного забезпечення управління процесами екологізації добувального виробництва доцільно використовувати нові логічні

інструменти управління – моделі прийняття рішень (складові теорії прийняття рішень). Нові технології розширюють потенціал проектування та управління (у тому числі, у сфері охорони НПС у гірничодобувних регіонах) [3].

Авторами розглянуто матриці попарних порівнянь та діаграми зв'язку. Матриця попарних порівнянь «matrix data analysis» (або матриця пріоритетів, матриця переваг, матриця критеріїв, матриця суджень, аналіз матричних даних, метод матричного аналізу даних, метод бінарних (або попарних порівнянь) була запропонована американським дослідником Т. Сааті. Це метод пошуку ідей та створення інновацій, інструмент кількісного аналізу під час прийняття управлінських рішень і складова методу аналізу ієрархій (МАІ) – математичного інструменту системного підходу у теорії прийняття рішень [4].

Для розв'язання більш складних проблем додатково можуть застосовуватися «сім нових інструментів контролю якості» (у тому числі: діаграма спорідненості; діаграма зв'язку; деревоподібна діаграма; матрична діаграма; матриця пріоритетів; блок-схема процесу ухвалення рішення; стрілочна діаграма). Метод «seven new tools» розроблений у 1979 році об'єднанням IUSE (Союз японських учених та інженерів). Передумовою якого був метод «seven basic tools» («сім основних інструментів управління якістю»). На практиці МАІ можна реалізувати для оцінки екологічних ризиків (для програм відновлення втрачених властивостей природно-техногенних геосистем). У сфері надрокористування, матриці пріоритетів (квадратичні матриці) можуть бути використані для визначення пріоритетних факторів ризику для довкілля шляхом попарних

порівнянь факторів екологічного ризику, виявлених на основі аналізу виробничих показників планованої діяльності. По кожному з факторів встановлюється ваговий коефіцієнт (пріоритетність) і внесок кожного фактора екологічного ризику у техногенне навантаження на довкілля. Вагові коефіцієнти розраховуються на основі попарних порівнянь факторів ризику та оцінки відносної пріоритетності. Для проведення попарних порівнянь елементів доцільно використовувати шкалу ієрархій. Для прийняття рішення відносно того, що саме завдає найбільшої шкоди навколишньому природному середовищу і здоров'ю населення, було побудовано ієрархію факторів екологічного ризику, яка містить критерії оцінки забруднення [3].

Як приклад, пропонується розробка Стремигородського родовища **апатит-ільменітових руд в Житомирській області**. Безпосередньо у межах родовища негативний вплив на стан геологічного середовища чинять і зворотні процеси – осушення водоносних горизонтів, як необхідний засіб створення безпечних умов відпрацювання руди [5-9]. Це призвело до розкриття водоносних горизонтів, виникнення великої депресійної лійки, пониження статичного рівня води в північно-західному, західному та південному напрямках, що супроводжується зниженням рівня води та частково зникненням води у колодязях сіл прилеглої території с. Хотинівка (521/174), с. Соболівка (141/47), с. Злобичі (362/120), с. Граби (151/50), с. Полянка (94/31), с. Мелені (773/257) та с. Стремигород (375/256) (в дужках: – чисельність населення / кількість садіб) рисунок 1.



на навколишнє природне середовище шляхом впровадження відповідних природоохоронних засобів та технологію виробництва ільменітового концентрату.

Наразі в Україні на законодавчо не затверджено концепцію, перелік критеріїв та індикаторів для оцінки еколого-економічних і соціальних систем з метою оптимізації процесів збалансованого розвитку. Це обумовлює необхідність розробки інструментарію щодо оцінки екологічно безпечного, стабільного розвитку регіонів, формування управлінських рішень, необхідних для реалізації його принципів.

Екологічне законодавство повинно передбачити низку наступних заходів:

- визначення нормативів природокористування (скидів та викидів шкідливих речовин та їх захоронення);
- розрахунок нормативів плати та розмірів платежів за природні ресурси, викиди, скиди забруднюючих речовин в навколишнє природне середовище;
- розробку системи штрафів за залпові аварійні та інші несанкціоновані викиди та скиди забруднюючих речовин у довкілля – попередження виникнення аварій і аварійних ситуацій, максимально швидке реагування на їх ліквідацію;
- введення системи пільг за використання маловідходних екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій, проведення робіт із очищення викидів та скидів від шкідливих речовин, а також інші природоохоронні заходи;
- організацію екологічного контролю інспекцій та управлінь;
- організацію робіт щодо покращення екологічної ситуації у всіх районах, містах, областях України;
- проведення екологічної сертифікації та ідентифікації.

Доцільно приділити увагу формуванню організаційно-економічного механізму екологізації процесів добувного виробництва на державному рівні.

Екологізація добувної діяльності вітчизняних підприємств допоможе зменшити суперечності

між економічним зростанням, збереженням та охороною природних ресурсів. Сприятиме можливості підвищити ефективність ресурсоспоживання, вийти на нові ринки «екологічної продукції» та забезпечити конкурентоспроможність української економіки.

**Висновок.** Запропоновані авторами методологічні підходи створюватимуть передумови для розробки та пошуку оптимальних форм управління процесами екологізації добувного виробництва, вдосконалення структури та підвищення ефективності системи управління природоохоронною діяльністю, запровадження ефективної екологічної політики та алгоритмування процесу екологізації. У свою чергу, екологізоване добувне виробництво сприятиме мінімізації негативного впливу видобування корисних копалин на довкілля.

### Література

1. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» /від 23.05.2017 № 2059-VIII [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.
2. Статистичний щорічник України 2018 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://presa.ua/statistichnij-schorichnik-ukraini-derzhkomstat-ukraini-za-2013-rik.html>.
3. Улицький О.А. О. А. Екологізація вуглевидобувного виробництва: розробка управлінських рішень на основі методу «seven new tools» / О. А. Улицький О.А., О. М. Сухіна. // Науковий журнал «Економіка України». – 2016. – №5. – С. 64–77.
4. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т. Л. Саати. – М: Радио и связь, 1989. – 316 с.
5. Предпроектные проработки к проекту строительства Стремгородского горнообогатительного комбината. Пояснительная записка. Кривбасспроект. Кривой Рог. 2009. – 250 с.
6. Биченок М.М. Про вплив екзогенних геологічних процесів на рівень техногенних ризиків життєдіяльності / М.М. Биченок,

- С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. – К: УкрДГРІ, 2006. – № 1. – С. 85-91.
7. Лисиченко Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління. / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. – К: Наукова думка, 2008. – 541 с.
8. Улицкий О. А. Экологическая безопасность угольных предприятий: индикаторы жизнеспособности экосистемы / О. А. Улицкий, М. В. Кротинова. // Международный научный журнал “Наука и Мир”. – 2014. – №9. – С. 179–183.
9. Сухіна О.М. Методичні засади та шляхи підвищення ефективності природоохоронних витрат при закритті вугільних шахт. – К. : РВПС України НАН України, 2006. – 86 с.
10. Иршинский ГОК. Стремигородский рудник. Карьер. Проект. Гидрогеологические условия участка первоочередного вскрытия карьера. Гидропроект. Харьков, 1987.
11. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях. / В. М. Шестопалов, Н. С. Огняник, Н. И. Дробноход, А. М. Гайдин. – Киев: Наукова думка, 1991. – 528 с.

# НАУКОВІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ПРИЙНЯТНИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ТА ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Антонов А. В.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2,  
03035, м. Київ  
Aav1946@ukr.net

За результатами узагальнення світового досвіду та власних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено актуальну науково-практичну проблему створення передумов зменшення забруднення довкілля та негативного впливу на безпеку життєдіяльності людини наслідків критичних (надзвичайних) ситуацій під час виникнення і ліквідування пожеж шляхом розвитку наукових основ розроблення і впровадження екологічно прийнятних вогнегасних речовин та технологій їх застосування.

Одержані результати досліджень є науковим підґрунтям зниження шкідливого впливу на довкілля та життєдіяльність людини небезпечних чинників пожеж шляхом впровадження у виробництво, а також практику використання в системах протипожежного захисту об'єктів різного призначення та пожежогасінні розроблених екологічно прийнятних вогнегасних речовин і технологій їх застосування. **Ключові слова:** довкілля, небезпечні чинники пожеж, токсичні продукти згоряння, термічні розкладання, екологічно прийнятні вогнегасні речовини та технології їх застосування, синергізм, антагонізм, шкідливий вплив життєдіяльність людей.

**Scientific basis of developing environmentally friendly extinguishing agents as well as technologies for their use. Antonov A.** Summarizing worldwide experience as well as our own theoretical and experimental research we are creating preconditions for reducing environmental pollution as well as negative impact on human health from the occurrence and elimination of fires.

Our research is a scientific basis for implementing environmentally friendly extinguishing agents, as well as technologies for their use, that will in

turn reduce harmful impact on environment and human health from dangerous fire factors. **Key words:** environment, dangerous fire factors, toxic combustion products, thermal decomposition, environmentally friendly extinguishing agents, synergism, antagonism, harmful impact on human health.

Як відомо, пожежі, як позарегламентний процес знищення або пошкодження вогнем майна, характеризуються проявом небезпечних чинників для живих істот і довкілля, до яких відносяться зокрема, виділення токсичних продуктів повного та неповного згоряння, а також в окремих випадках небезпечні продукти взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям та нагрітими поверхнями або середовищами. Під час ліквідування пожеж, а також в системах протипожежного захисту об'єктів різного призначення застосовуються більшою або меншою мірою всі види вогнегасних речовин, тобто вода, піна, газові, газо-аерозолеві, порошкові. Деякі з них, зокрема хладони 2402 та 1301, поряд з високою вогнегасною здатністю мають дуже високий озоноруйнівний потенціал, а інші (піна та вода зі змочувальниками) до складу яких входять поверхнево-активні речовини, потрапляння яких у надмірних концентраціях призводить до забруднення ґрунтів, поверхневих та ґрунтових вод, знищення або пошкодження біоти [1].

Масштаби екологічного забруднення довкілля та їх негативного впливу на життєдіяльність людини внаслідок пожеж та процесів їх ліквідування значною мірою залежать як від показників якості вогнегасних речовин так і технології їх подавання задля припинення горіння.

**Метою роботи** був розвиток наукових основ розроблення екологічно прийнятних вогнегасних речовин і технологій їх застосування в системах протипожежного захисту об'єктів

та пожежогасінні як передумови зменшення забруднення довкілля, а також зменшення негативного впливу небезпечних чинників пожеж на життєдіяльність людини.

Об'єктом досліджень були процеси припинення горіння, а також технології застосування вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту об'єктів та ліквідуванні пожеж як джерел екологічного забруднення довкілля і негативного впливу на життєдіяльність людини. Предметом досліджень було виявлення впливу хімічного складу, агрегатного стану, співвідношення компонентів, показників якості та параметрів подавання вогнегасних речовин на ефективність припинення процесів горіння, а також екологічне забруднення довкілля під час виникнення і ліквідування пожеж чи спрацюванні систем протипожежного захисту об'єктів.

**Методи дослідження.** В роботі використано комплексний системний підхід, який включав аналіз та узагальнення світового досвіду та власних досліджень з питань розроблення вогнегасних речовин та технологій їх застосування в системах протипожежного захисту об'єктів та пожежогасінні; аналіз статистики пожеж і шкідливого впливу на довкілля та життєдіяльність людей небезпечних чинників пожеж; комп'ютерне моделювання системи попередження та вибуху першого ступеня ракети-носія проведено із використанням програмного забезпечення Fire Dynamics Simulation; дослідження інгібувальної здатності неорганічних солей та їх водних

розчинів проводили із застосуванням методу ІЧ-спектроскопії; для дослідження впливу виду і співвідношення компонентів вогнегасних речовин на показники їх якості застосовано фізико-хімічні методи (термогравіметричний аналіз, криоскопія, оптичний аналіз, термометрія, хімічний аналіз). Показники якості вогнегасних речовин визначали за атестованими методиками із застосуванням повірених засобів вимірювання. Вогнегасну ефективність вогнегасних речовин і технічних засобів їх застосування оцінювали як у лабораторних, так і у полігонних умовах з використанням модельних вогнищ пожеж. Результати досліджень оброблялись методами обчислювальної математики із використанням програмного комплексу «Microsoft Office».

Згідно статистичних даних [2], за період з 2003 по 2018 роки тільки в Україні щороку траплялось понад 70 000 пожеж, а найбільша їх кількість (без урахування тимчасово окупованих територій Донбасу та Криму, а також лісових пожеж) у 2015 році їх кількість наблизилась до значення 80 000.

Викиди парникових газів тільки внаслідок лісових пожеж в Україні у 2014 році по  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$  досягли значень 342.02; 1.02; 0.06; 0.65; 23.32 тисяч тон відповідно. Під час пожеж та їх ліквідування внаслідок утворення токсичних продуктів повного та неповного згорання, а також застосування вогнегасних речовин завдається шкода довкіллю залежно від масштабів пожеж. На рисунку 1 наведено схематичне зображення такого впливу.

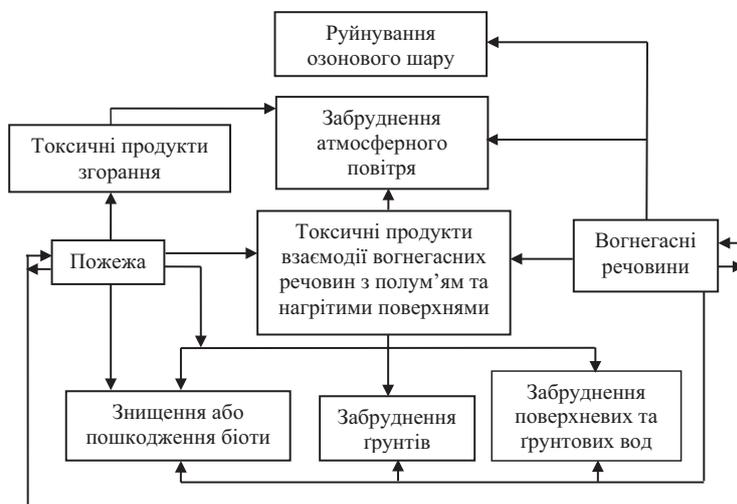


Рис. 1. Схематичне зображення негативного впливу на довкілля наслідків пожеж та застосування вогнегасних речовин

Для гасіння пожеж в Україні застосовуються більшою або меншою мірою всі види вогнегасних речовин, класифікацію яких за агрегатним станом наведено на рисунку 2 [1].

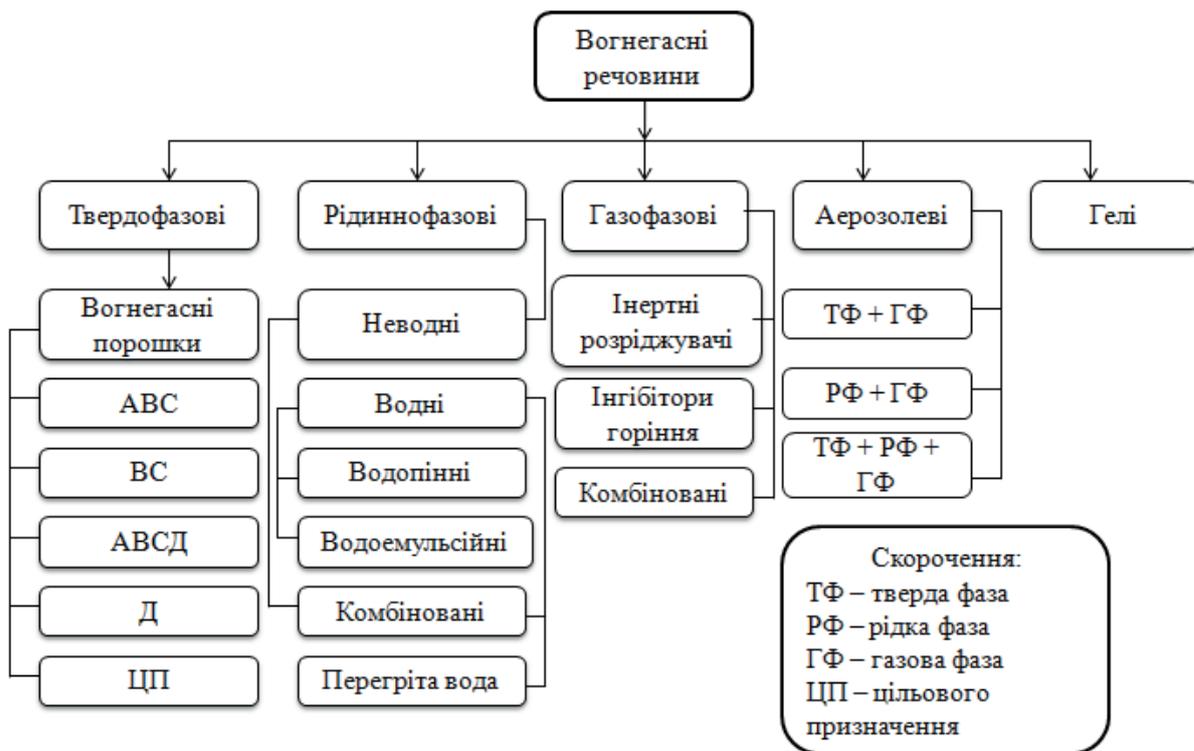


Рис. 2. Класифікація вогнегасних речовин за агрегатним станом

У таблиці 1 наведено узагальнені відомості щодо небезпечних властивостей найбільш поширених вогнегасних речовин, а на рисунку 3 вплив чинників на процеси припинення горіння у разі їх застосування.

Таблиця 1

Узагальнені відомості щодо небезпечних властивостей деяких вогнегасних речовин [1]

Вид вогнегасних речовин	Хімічна основа	Приклади	Показники екологічної безпеки
Твердофазові (вогнегасні порошки) ABC BC ABCD ЦП	ФАС ГН, СК, ССК ФАС+ХК Спец. композиції	П-2АПМ; Р-11-24; Вексон ABC; Пірант-А; Пірант-АН ФакторABC-40 ПСБ-3; Вексон BC; Monnex; Карате П-2АК ПГС; МГС; CaF <sub>2</sub> ; СИВК; ПС-1; ПХ; ПМГС; РС; Си-2; CaO	III-IV IV III-IV III I-III
Рідиннофазові неводні	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub> C <sub>6</sub> F <sub>12</sub> O	Хладон2402 NOVEC1230 (хладон ФК-5-1-12, «СВ»)	ОП-6; ПГП-1890; ТЖА-16 ОП-0; ПГП-1; ТЖА-0,014
Вода	H <sub>2</sub> O		IV
Перегріта вода	H <sub>2</sub> O	Спецтехнології	IV

Рідиннофазові водні H <sub>2</sub> O+ПАР	H <sub>2</sub> O+ПАР	Дослідні зразки Вода зі змочувальниками	III-IV
Рідиннофазові водопінні	H <sub>2</sub> O+піноутворювачі	Пірена1; Пірена2; Пірена3; Альпен; Альпен М; Пегас; Сніжок; Пайрокул; ПО-63Р3; ПО-63М (Морпен); ПО-Р3Ф; ПО-Р3П «Заполярий»	III-IV
Рідиннофазові водоемульсійні	H <sub>2</sub> O+модифікувальні добавки	Дослідні зразки	III
Рідиннофазову гелеутворювальні	H <sub>2</sub> O+модифікувальні добавки	PREVENTO; дослідні зразки	III-IV
Рідиннофазові комбіновані	H <sub>2</sub> O+ПАР+ІГ+модифікувальні добавки	ОС-5; ОС-А1, Дослідні зразки;	III-IV
Газофазові розріджувачі	N <sub>2</sub> , Ar, CO <sub>2</sub> та їх суміші	N <sub>2</sub> , Ar; Інерген CO <sub>2</sub>	РВШЕ>43% РВШЕ>5%
Газофазові інгібітори горіння	CF <sub>3</sub> Br	Хладон 1301	ОП-10-18; ПГП-7140; ТЖА-65
	C <sub>3</sub> F <sub>7</sub> N	Хладон 227ea (FM-200)	ОП-0; ПГП-3220; ТЖА-29
		Хладон-23 Хладон-125	ОП-0 ОП-0
Аерозолеві, (ТФ+ГФ)	Солі калію, H <sub>2</sub> O; CO <sub>2</sub> ; K <sub>2</sub> O; N <sub>2</sub> ; NO <sub>2</sub>	МАГ-3; МАГ-4; АГАТ-2; АГС-6; ОСАм 20/40; ОСАМ-60; Пурга К002; Пурга-МХ; СПТС-80Х; ФП-200; ФП-6300; БАГР	III

*Примітка.* У таблиці вжито такі умовні позначення: А,В,С (Е), (F) – класи пожеж; ЦП – цільового призначення; ПАР – поверхнево-активна речовина; ГН – гідрокарбонат натрію; ФАС – фосфорноамонійні солі; СК – сульфат калію; ІГ – інгібітори горіння; ОП – озоноруйнівний потенціал; ПГП – потенціал глобального потепління; ТЖА – тривалість життя в атмосфері; I-IV – класи небезпеки за ГОСТ-12.1.007; ССК – сплав сечовини з калійними солями; РВШЕ – рівень відсутності шкідливого ефекту.

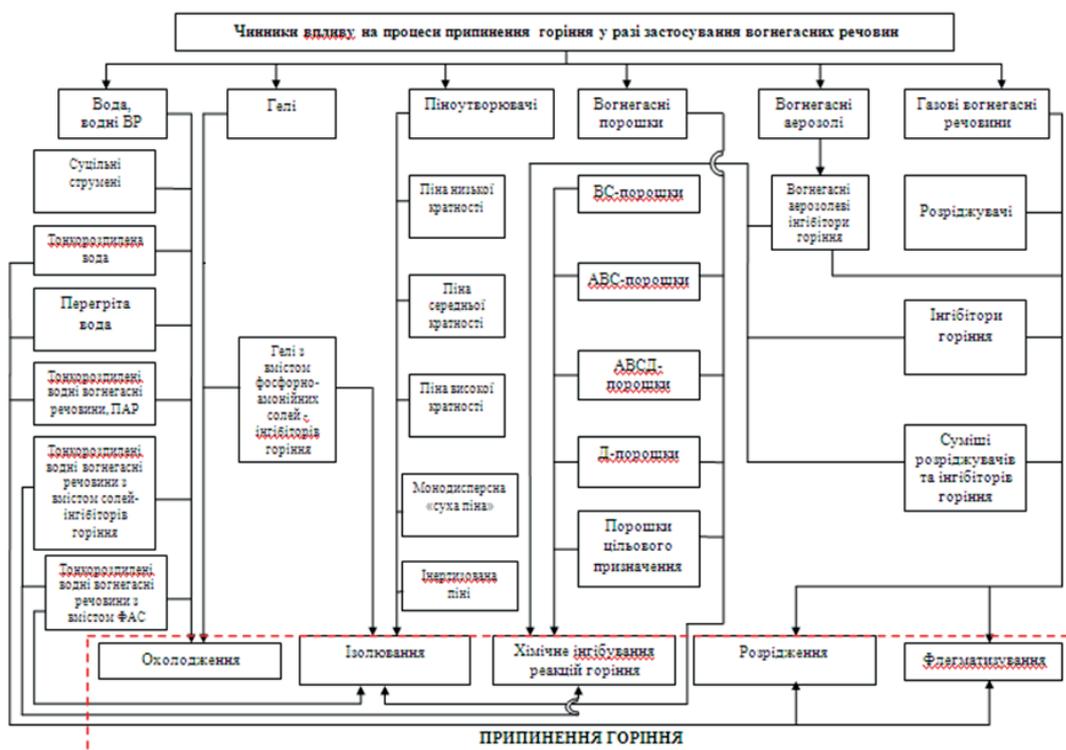


Рис. 3. Чинники впливу на процеси припинення горіння у разі застосування вогнегасних речовин [1]

Із застосуванням установки та методики, висвітлених у роботах [1,3-4], проведено експериментальні дослідження з виявлення впливу хімічного складу і співвідношень компонентів порошків неорганічних солей та їх водних розчинів на ефективність прояву інгібувального чинника припинення горіння вуглеводневого полум'я.

Результати досліджень інгібувальних властивостей досліджених солей та їх водних розчинів свідчать про те, що найбільшу ефективність мають солі калію, а солі амонію найменшу. За своєю ефективністю інгібувальної дії на ОН – радикали вуглеводневого полум'я ряди солей калію і натрію співпадають. Серед амонійних солей найбільша ефективність притаманна моноамонійфосфату. Сечовина зовсім не впливає на змінення концентрацій ОН – радикалів. У разі суміші порошків хлориду калію та діамонійфосфату проявляється ефект антагонізму дії на ОН – радикали, а у разі сумішей хлориду калію і бікарбонату натрію синергізм.

У роботах [1,4-6] наведено результати досліджень з визначення ефективності припинення горіння стехіометричної пропаноповітряної суміші у разі подавання твердих дисперсних речовин.

Із застосуванням цієї ж методики і установки виявлено ефект антагонізму ефективності припинення горіння у разі подавання у пальник бінарної суміші порошків хлориду калію та діамонійфосфату (рис. 4) [1,3-6].

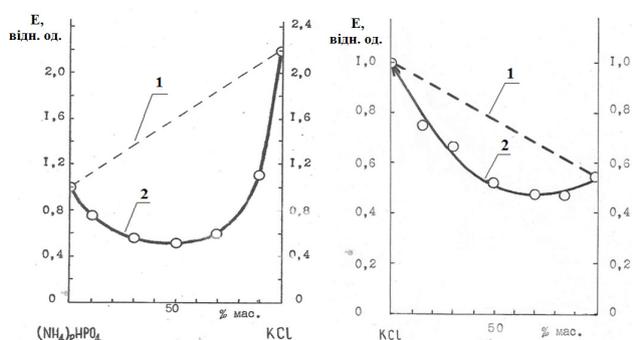


Рис. 4. Ефект антагонізму ефективності припинення горіння стехіометричного пропаноповітряного газового середовища у разі подавання в пальник деяких сумішей порошків – інгібіторів горіння:

1 – адитивні прямі залежностей відносної ефективності сумішей порошків; 2 – криві залежностей відносної ефективності сумішей порошків за результатами експериментальних досліджень.

Наведена залежість змінення відносної вогнегасної ефективності залежно від співвідношення компонентів у бінарній суміші порошків хлориду калію та бікарбонату натрію (рис. 5) свідчить про ефект синергізму, тобто суміші порошків мають більшу вогнегасну здатність порівняно з вогнегасною здатністю окремих компонентів, а порівняння залежностей за інгібувальною здатністю свідчить про домінуючий його внесок.

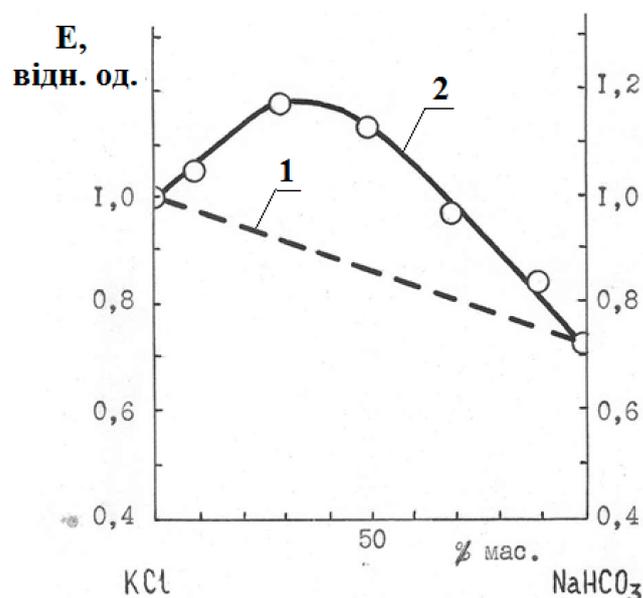


Рис. 5. Ефект синергізму ефективності припинення горіння стехіометричного пропаноповітряного газового середовища у разі подавання в пальник деяких сумішей порошків – інгібіторів горіння:

1 – адитивні прямі залежностей відносної ефективності сумішей порошків; 2 – криві залежностей відносної ефективності сумішей порошків за результатами експериментальних досліджень

Проілюстровані ефекти, які обов'язково потрібно враховувати (і було враховано) при розробленні рецептури вогнегасних порошків. На рисунку 6 наведено фрагменти масштабних вогневих випробувань модулів порошкового пожежогасіння типу «Спрут», оснащених запірно-розпилювальними пристроями, які використано під час досліджень з визначення

відносної вогнегасної ефективності порошків «П-2АПМ» та «Фактор АВС-40» у разі спорядження ними модулів порошкового пожежогасіння «Спрут» [7-8].



Рис. 6. Фрагмент випробувань модулів типу СПРУТ, оснащених запірно-розпилювальними пристроями

У таблиці 2 наведено результати таких досліджень, які засвідчили перевагу вогнегасного АВС-порошку «Фактор АВС-40» порівняно з однотипним та ідентичного за дисперсністю порошком П-2АПМ.

Таблиця 2

**Результати досліджень з визначення відносної вогнегасної ефективності вогнегасних порошків П-2АПМ та ФАКТОР АВС-40 при застосуванні їх в модулях СПРУТ**

Тип модуля	Вогнегасний порошок						Коефіцієнт відносної ефективності		
	П-2АПМ			ФАКТОР АВС-40			K1(S <sub>з</sub> )	K1(V <sub>з</sub> )	K1(S <sub>в.зд.</sub> )
	S <sub>з</sub> , м <sup>2</sup>	V <sub>з</sub> , м <sup>2</sup>	S <sub>в.зд.</sub> , м <sup>2</sup>	S <sub>з</sub> , м <sup>2</sup>	V <sub>з</sub> , м <sup>2</sup>	S <sub>в.зд.</sub> , м <sup>2</sup>			
Спрут-3о	8,3	15	1,07 (34В)	11	22	2,2 (70В)	1,3	1,5	2,0
Спрут-6о	12,3	27,0	1,73 (55В)	15	42	3,55 (113В)	1,2	1,6	2,0
Спрут-9о	16,0	60,0	4,52 (89В)	20	60	4,52 (144В)	1,25	1,4	1,6
Спрут-12о	19,2	52,0	4,52 (144В)	25	80,0	5,76 (183В)	1,3	1,5	1,3
Спрут-15о	26,0	60,0	5,76 (183В)	32,0	100,0	7,32 (233В)	1,2	1,7	1,3

де S<sub>з</sub>, м<sup>2</sup> – значення показника «захищена площа» (клас В);  
 V<sub>з</sub>, м<sup>2</sup> – значення показника «захищений об'єм» (клас В);  
 S<sub>в.зд.</sub>, м<sup>2</sup> – значення показника «вогнегасна здатність».

Відмінність у значеннях відносної ефективності пояснюється більшим вмістом діамонійфосфату в порошку «Фактор АВС-40» (35,3 ±0,1 порівняно з 23,9 %, мас. у перерахунку на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> відповідно).

Вплив чинників на ефективність та екологічність процесів припинення горіння у разі застосування технологій пінного пожежогасіння, висвітлено за результатами багаторічних

досліджень з розроблення та впровадження у виробництво піноутворювачів та визначення показників їх якості [1,9-18]. Слід зазначити, що тільки чотири марки піноутворювачів для пожежогасіння, які більшою чи меншою мірою поширені в Україні, відносяться до III класу небезпечності за ГОСТ 12.1.007, а саме піноутворювачі загального призначення ПО-1; ПО-1Д; ПО-6К та ПО-ЗАИ, а три з них, за

виключенням ПО-ЗАИ, є біологічно жорсткими. Розроблені та впроваджені у виробництво та практику пожежогасіння піноутворювачі Пегас і Сніжок відповідають поняттю «екологічно прийнятні».

З появою на ринку України плівкоутворювальних піноутворювачів створено передумови поширення технологій застосування «підшарового пожежогасіння», схематичне зображення якого наведено на рисунку 7. Такі технології дозволяють значною мірою зменшити тривалість гасіння та ризики нещасних випадків та уражень під час ліквідації пожеж.

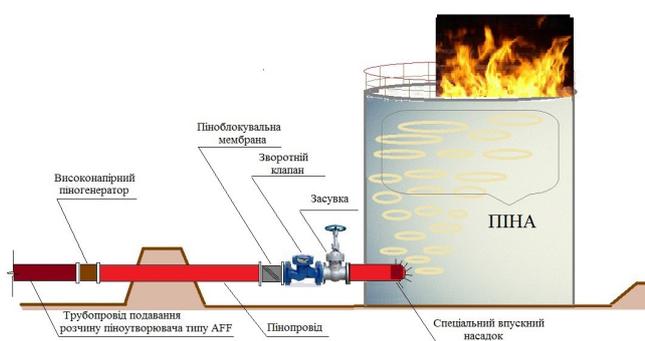


Рис. 7. Схематичне зображення процесу гасіння пожежі в резервуарі з нафтопродуктами «підшаровим способом»

Виходячи з аналізу світового досвіду ще більша ефективність застосування згенерованої з робочих розчинів екологічно прийнятних піноутворювачів притаманна компресійній (суха піна), схематичне зображення застосування якої наведено на рисунку 8.

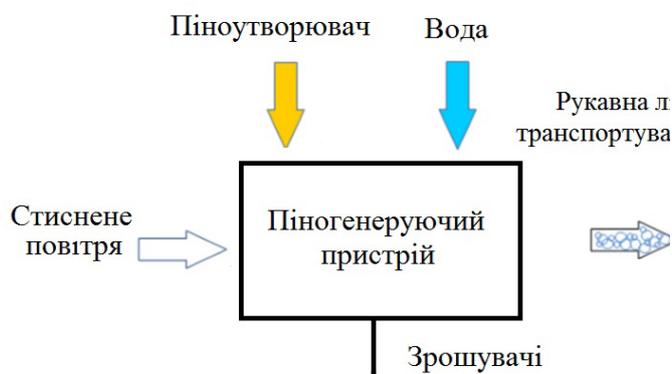


Рис. 8. Схематичне зображення процесу гасіння пожежі із застосуванням компресійної піни

Суттєвими перевагами згаданих технологій є придатність компресійної піни транспортуватись по рукавних лініях на значні відстані та

подаватись у висотні будівлі та споруди, дальність подавання струменів (до 50 м), незначна концентрація піноутворювача 0,3-0,5%, мас; придатність до гасіння пожеж майже усіх класів з найменшим, порівняно з іншими технологіями пінного пожежогасіння негативним екологічним впливом на довкілля. Застосування таких технологій в Україні стримується відсутністю технічного забезпечення.

Газові вогнегасні речовини, інгібітори та розріджувачі найбільшого поширення у вітчизняній практиці, як і у країнах колишнього СРСР, набули хладони, насамперед 2402 та 1301, які поряд з високою вогнегасною здатністю мають найвищі значення озоноруйнівного потенціалу, тобто є екологічно небезпечними. Україна, як сторона Монреальського протоколу про речовини, що виснажують озонний шар, поклала на себе обов'язки його виконання, зокрема у частині поступового скорочення та вилучення з обігу озоноруйнівних хладонів (галонів) у сфері пожежогасіння. З метою реалізації вітчизняної національної програми проведено дослідження, що спрямовані на пошук альтернативних вогнегасних речовин та технологій [1, 15-23, 25-28].

Однією з таких газових вогнегасних речовин, на світовому ринку запропоновано хладон NOVEC – 1230 з нульовим озоноруйнівним потенціалом.

Також проведено дослідження з обґрунтування робочих параметрів системи попередження пожежі та вибуху «сухих» відсіків 1-го ступеня ракети-носія під час польоту, при цьому використано польовий метод математичного моделювання із використанням програмного комплексу FDS (Fire Dynamics Simulator, версія 6.0.1), що дозволяє отримати найбільш достовірні результати з існуючих на даний час, моделей відповідно до реальних процесів тепло - та масообміну. Розраховано залежність між тривалістю подавання флегматизувальної речовини, значенням захищеного об'єму та необхідної (безпечної) концентрації азоту [1, 28].

За результатами обчислювальних експериментів з визначення розподілу концентрацій газової вогнегасної речовини (азоту) в об'ємі хвостового відсіку 1-го ступеня ракети-носія, використовуючи критерії, що отримані за результатами екс-

периментальних досліджень, було обґрунтовано значення витрати газової вогнегасної речовини, яка становить 0,142 кг/с для хвостового відсіку, 0,077 кг/с для міжбакового відсіку та 0,25 кг/с для міжступінного відсіку з урахуванням заданого напрямку подавання азоту з колекторів системи термостабілізації.

За результатами проведення математичного моделювання роботи системи попередження пожежі і вибуху встановлено, що за умови подання азоту протягом 120 с не забезпечується рівномірний розподіл флегматизувальної речовини в об'ємах «сухих відсіків» ракети-носія під час польоту. Виходячи з цього, в ході обчислювальних експериментів тривалість подавання азоту було збільшено до 300 с.

Об'ємна концентрація флегматизувальної речовини (азоту) у газовому середовищі хвостового, міжбакового та міжступінного відсіків на момент завершення її подавання і стабілізації потоків протягом 3 с (319 с моделювання) складала в межах 92-97 %, а на момент відділення 1-го ступеню ракети-носія (445 с моделювання) приблизно 93 %. При цьому, об'ємна концентрація окиснювача (кисню) у газовому середовищі зазначених відсіків на момент завершення подавання азоту і стабілізації потоків протягом 3 с (319 с моделювання) складає в межах 3-7 %, а на момент відділення 1-ї ступені ракети-носія (445 с моделювання) приблизно 7 %. За цих умов досягається вибухопожежобезпечне середовище у об'ємі хвостового, міжбакового та міжступінного відсіків 1-ї ступені ракети-носія, що виключає займання ракетного пального Jet-A1 під дією висококалорійного джерела запалення під час польоту ракети-носія.

Підтвердження розрахунків математичної моделі верифіковано шляхом проведення натурних експериментальних досліджень з обґрунтування параметрів системи попередження пожежі та вибуху у сухих відсіках ракети-носія.

За результатом проведення серії натурних експериментальних досліджень на створеному макеті хвостового відсіку ракети-носія було підтверджено значення флегматизувальної концентрації азоту (39%) у газовому середовищі з наявністю парів пального Jet-A1. При цьому виявлено, що, за умов впливу висококалорійного джерела запалювання в період 21-27 хв., після закінчення подавання азоту, спостерігаються окремі спалахи парів пального безпосередньо в зоні теплового впливу. Тривалість подавання азоту становила 120 с, маса поданого азоту – 14,1 кг.

Таким чином, були обґрунтовані робочі параметри системи попередження пожежі та вибуху (флегматизування) «сухих» відсіків ракети-носія.

За зазначених параметрів роботи системи попередження пожежі і вибуху «сухих» відсіків ракети-носія безпечна (флегматизувальна) концентрація азоту зберігалася від моменту старту до моменту відділення 1-го ступеня. При відділенні першого ступеню у міжступеневому відсіку встановлюється тиск навколишнього середовища  $\approx 70$  Па («середній вакуум»), що унеможливорює утворення пожежо-вибухонебезпечного середовища.

Таким чином, обґрунтовано застосування екологічно безпечної вогнегасної речовини – азоту, для зниження ризику аварії космічного апарату з негативним екологічним наслідками.

Одним із перспективних видів вогнегасних речовин та технологій їх застосування є водні вогнегасні речовини, які подаються для припинення горіння у вигляді тонкорозпилених струменів.

За результатами досліджень, висвітлених у роботах [1, 29-33], запропоновано низку таких речовин, показники якості деяких з них наведено у таблиці 3.

**Показники якості деяких водних вогнегасних речовин, придатних до застосування у технології тонкого розпилювання**

Хімічний склад ВВР	Зовнішній вигляд	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Температура замерзання, °С	Водневий показник
Етиленгліколь – 45 % (об), АFFF – 0,025 % (об), вода – решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1061	2,9	мінус 31,0*	10,02
Етиленгліколь – 30 % (об), АFFF – 0,025 % (об), вода – решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1039	2,1	мінус 16,0*	9,70
КСІ – 5 % (мас), АFFF – 0,025 % (об), вода – решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1030	0,9	мінус 1,9	6,45
КСІ – 10 % (мас), АFFF – 0,025 % (об), вода – решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1061	0,9	мінус 4,1	6,50
КСІ – 19 % (мас), АFFF – 0,025 % (об), вода – решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1117	0,9	мінус 11,1	6,45
КNO <sub>3</sub> – 10 % (мас), вода – решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1059	0,9	мінус 3,0	6,47
К <sub>2</sub> СО <sub>3</sub> – 20% (мас.) етилен гліколь 15% (мас.) АFF 0.4% (об.) вода -решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1167	2,1	Нижча за мінус 15	12,25
К <sub>2</sub> СО <sub>3</sub> – 34% (мас.), АFF 0.4% (об.) вода -решта	Однорідна безколірна рідина без розшарування	1199	3,2	Нижча за мінус 25	12,20

Проведено дослідження з перевірки працездатності та ефективності установки пожежогасіння водною вогнегасною речовиною, яку запроєктовано в системі протипожежного захисту трансформаторів пристанційного вузла ОРУ-330 електроцеху та головних мастилобаків КТЦ «ЦІК «Курахівська ТЕС» [32]. Об'єктом для проведення випробувань був макет трансформатора, що розташований на території Курахівської ТЕС, обладнаний обвалуванням висотою 0,5 м та огорожений двома металевими захисними стінками висотою 6,0 м (як усі одиниці у групі блочних трансформаторів ОРУ-330). Площа обвалування та захищеного макету дорівнювала 200 м<sup>2</sup>.

Випробувальна установка складалася з таких елементів: – 8 модульних установок МУП ТВ-50-Г-ВД, які складаються з балонів місткістю по 50 л кожен, заповнених водною вогнегасною речовиною, встановлених на 4-х металевих підставках; – 32 блоки зрошувачів, з'єднаних між собою та балонами системою трубопроводів; – 1 модуль МГП-1-80 та 1 модуль МГП-1-100 з газом-витискувачем (СО<sub>2</sub>). Маса водної

вогнегасної речовини в установці дорівнювала 400 кг, загальна маса газу-витискувача – 100 кг. Включення установки пожежогасіння здійснювалось кнопкою ручного пуску кожного модуля МГП-1-80 та МГП-1-100 з газом-витискувачем (СО<sub>2</sub>). Випробування проводили за температури навколишнього середовища 8°С, відносної вологості повітря 80%, атмосферного тиску 766 мм рт. ст. і швидкості вітру 1,5–3,0 м·с<sup>-1</sup>. Тривалість вільного горіння макетних вогнищ дорівнювала не менше 60 с.

За результатами досліджень встановлено, що за інерційності спрацювання установки не більше 2 секунд гасіння модельних вогнищ досягнуто за проміжок часу не більше 5 секунд. Це значно ефективніше за установку пінного пожежогасіння, яку зазвичай застосовують для протипожежного захисту об'єктів (інерційність спрацювання 6 - 10 хв, тривалість гасіння від 15 до 30 хвилин).

Як відомо, чинниками припинення горіння є охолодження, інгібування, розбавлення, ізолювання та флегматизування, які певною мірою проявляються або окремо, або комбіновано

під час взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям та нагрітими внаслідок пожеж поверхнями та об'ємами.

Узагальнену інформацію щодо вагомості чинників впливу на процеси припинення горіння наведено у таблиці 4 [1].

Таблиця 4

**Якісний внесок чинників впливу на процеси припинення горіння у разі застосування вогнегасних речовин (за п'ятибальною шкалою)**

Вид вогнегасних речовин	Чинники впливу на процеси припинення горіння					
	охолодження	інгібування	розбавлення	ізолювання	флегматизування	класи пожеж
1	2	3	4	5	6	7
Твердофазові (вогнегасні порошки) ABC BC ABCD Д ЦП	1 1 1 1 1-2	4 4 3 1-2 1-3	1 1 0 0 0-2	3 0 3 1-2 0-3	1 0 1 0 0-1	A, B, C (E, F) B, C (E, F) A, B, C, D (E) D ЦП
Рідиннофазові неводні	1-2	4	2	0	2	B, C (E)
Вода	2	0	1	0	0	A
Рідиннофазові водні (вода+ПАР)	3	0	1	0	0	A, B, C (E, F)
Рідиннофазові водопінні	1	0-1	0-1	3-4	0-1	B, A
Рідиннофазові водоемульсійні	2	0-2	0-2	0	0-2	B, C
Рідиннофазові гелеутворювальні	3	0	0	2	0	A, F
Рідиннофазові комбіновані	2-3	1-4	1-4	1-4	1-4	A, B, C, F
Перегріта вода	2	0	2	0	2	A, B, C
Газофазові розріджувачі	1	0	4	0	4	B, C (E, F)
Газофазові інгібітори горіння	1	4	2	0	4	B, C (E, F)
Аерозолеві, (ТФ+ГФ)	1	4	2	0	4	B, C, A (E)
Аерозолеві (РФ+ГФ)	2-3	1-4	1-3	1-3	1-3	A, B, C (E, F)
Аерозолеві, цільового призначення	1-4	1-4	1-3	0-4	1-4	Залежно від призначенні

Примітка. У таблиці вжито такі умовні позначення: A, B, C (E), (F) – класи пожеж; ПАР – поверхнево-активна речовина; ТФ – тверда фаза; ГФ – газова фаза; РФ – рідка фаза; 1 – незначний внесок; 2 – помітний внесок; 3 – значний внесок; 4 – домінуючий внесок; 0 – практично відсутній внесок.

Аналіз вагомості внесків чинників впливу на процеси припинення горіння наведених таблиці 4, свідчить, що у разі застосування рідинофазових комбінованих вогнегасних речовин можуть одночасно реалізовуватись охолодження, інгібування, розбавлення, ізолювання, флегматизування, тобто забезпечується висока вогнегасна ефективність та відповідність до поняття екологічно прийнятних.

На рисунку 9 наведено запропоноване за результатами узагальнення схематичне зображення впливу екологічно прийнятних вогнегасних речовин та технологій їх застосування на зменшення негативного впливу пожеж на довкілля та життєдіяльність людини.

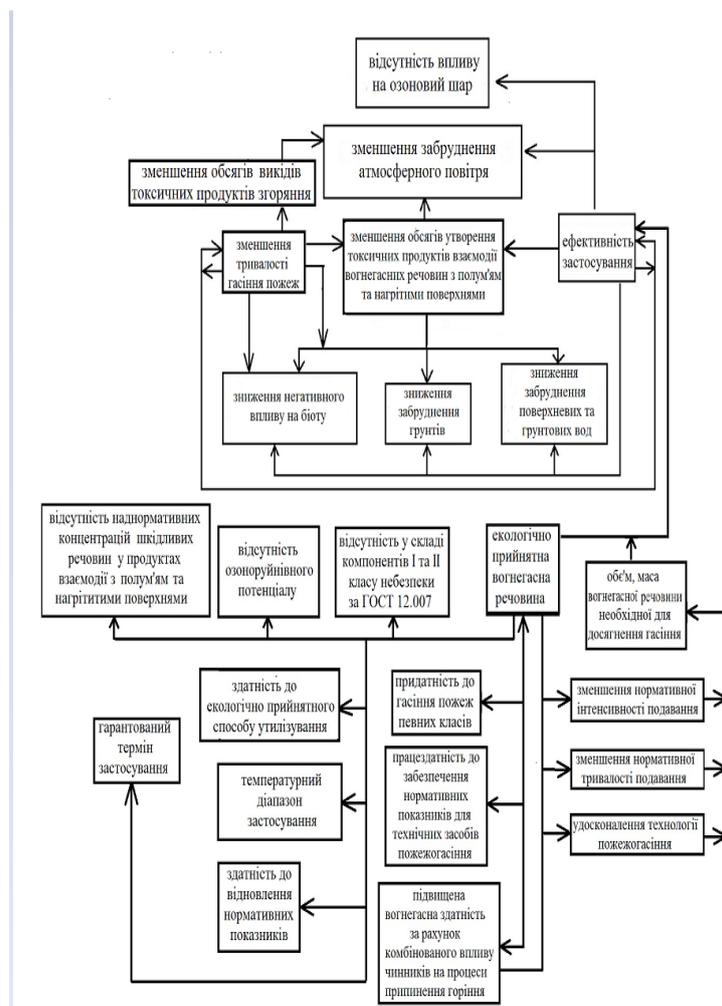


Рис. 9. Схематичне зображення впливу екологічно прийнятних вогнегасних речовин та технологій їх застосування на зменшення негативного впливу пожеж на довкілля та життєдіяльність людини

Схема ілюструє, що застосування вогнегасних речовин та технологій їх подавання, наявних та перспективних, які відповідають поняттю «екологічно прийнятних», є необхідною умовою зменшення негативного впливу на довкілля та життєдіяльність людей внаслідок пожеж та процесів їх ліквідування.

**Висновки.** За результатами проведених комплексних досліджень вирішено актуальну

науково-практичну проблему створення передумов зменшення екологічного забруднення довкілля та негативного впливу на безпеку життєдіяльності людини внаслідок критичних (надзвичайних) ситуацій під час виникнення і ліквідування пожеж шляхом розвитку наукових основ розроблення і впровадження екологічно прийнятних вогнегасних речовин, а також технологій їх застосування. Отримано наступні результати:

1. Виявлено шляхи зменшення шкідливого екологічного впливу пожеж на довкілля і життєдіяльність людей їх наслідків, які полягають у використанні екологічно прийнятних вогнегасних речовин та технології їх застосування.
  2. Визначено поняття «*екологічно прийятна вогнегасна речовина*» – речовина або однорідна суміш, за своїми фізико-хімічними властивостями придатна до застосування в технічних засобах задля припинення горіння. За ступенем дії на організм відноситься до помірно небезпечних або малонебезпечних, під час взаємодії з полум'ям і термічного розкладу не утворює шкідливих речовин у концентраціях, небезпечних для живих істот і довкілля. Також визначено поняття «*екологічно прийятні технології застосування вогнегасних речовин*» – подавання їх технічними засобами до досягнення ліквідування пожеж, під час яких в атмосферному повітрі, ґрунтах та водоймах не накопичуються шкідливі речовини у концентраціях, небезпечних для живих істот і довкілля.
  3. За результатами експериментальних досліджень з виявлення впливу, виду і співвідношень компонентів порошків неорганічних солей, а також їх водних розчинів на ефективність прояву інгібувального чинника припинення горіння вуглеводневого полум'я підтверджено його домінуючий внесок у процеси припинення горіння та необхідність урахування ефектів синергізму або антагонізму вогнегасної здатності сумішей компонентів вогнегасних порошків та водних розчинів органічних солей із вмістом поверхнево-активних речовин під час розроблення екологічно прийнятних рецептур вогнегасних порошків та водних вогнегасних речовин. Одержані результати є науковим підґрунтям розроблення зазначених вогнегасних речовин, захищених відповідними патентами.
  4. Набуло подальшого розвитку уявлення щодо внесків окремих чи комбінованих чинників впливу на процеси припинення горіння твердих матеріалів і рідких горючих речовин, а також газових горючих середовищ у разі застосування екологічно прийнятних вогнегасних речовин, оцінено їхню вагомість за запропонованою п'ятибальною шкалою.
  5. Обґрунтовано доцільність обов'язкового урахування особливостей припинення горіння під час вибору виду вогнегасних речовин і технологій протипожежного захисту об'єктів та пожежогасінні екологічної складової з дотриманням принципу трьох «е» – ефективність, екологічність, економічність.
  6. На підставі узагальнення світового досвіду та результатів власних досліджень виявлено, що екологічно прийнятними вогнегасними порошками є такі, що забезпечують досягнення нормативних значень за вогнегасною здатністю та експлуатаційним показникам і не містять у своєму складі компонентів I-го та II-го класів небезпечності за ГОСТ 12.1.007 і відносяться до III-го або IV-го класу.
- Всі види вогнегасних порошків, сертифіковано в Україні та є екологічно прийнятними й придатними до застосування у переносних, пересувних вогнегасниках системах автоматичного порошкового пожежогасіння та пожежних автомобілях порошкового та комбінованого пожежогасіння. Підвищена ефективність прояву своєї вогнегасної здатності притаманна технологіям пожежогасіння вогнегасними порошками із застосуванням імпульсного способу їх подавання в об'єм, що захищається, або на поверхню горіння.
7. За результатами масштабних вогневих випробувань із застосуванням модельних вогнищ встановлено, що використання у модулях порошкового пожежогасіння типу «Спрут» різних типорозмірів екологічно прийнятного вогнегасного порошку «Фактор АВС-40» IV класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007 з вмістом замість однотипного порошку «П-2АПМ» III класу небезпеки призводить до збільшення вогнегасної ефективності модулів у 1,2 – 1,6 рази, що можна пояснити більшим вмістом діамонійфосфату у вогнегасному порошку «Фактор АВС-40» ( $35,3 \pm 0,1$  %, мас у перерахунку на  $P_2O_5$  порівняно з  $23,9 \pm 0,1$  %, мас) у вогнегасному порошку «П-2АПМ». Також встановлено, що обладнання модулів порошкового пожежогасіння типу «Спрут» запірно-розпилювальними пристроями, які

забезпечують гасіння переважно поверхневим способом, призводить до підвищення вогнегасної ефективності модулів споряджених вогнегасним АВС-порошком «Фактор АВС-40» запозачниками «захищена площа, клас А», «захищена площа, клас В» та вогнегасна здатність» більша у 1,4-1,6 рази.

8. Визначено показники якості сертифікованих в Україні піноутворювачів для пожежогасіння загального, а також спеціального призначення і виявлено, що вони відносяться до екологічно-прийнятних за виключенням екологічно жорстких. Підтверджено, що застосування технологій пінного гасіння пожеж резервуарів з нафтою та нафтопродуктами подаванням піни під шар горючих рідин призводить до суттєвого зниження тривалості гасіння, тобто зменшує рівень забруднення атмосферного повітря продуктами згоряння, а також ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод поверхнево-активними речовинами, які входять до їх складу. Найвищу ефективність має технологія застосування компресійної «сухої піни», яка придатна до транспортування по рукавних лініях на відстань до 1,5 км та подавання для гасіння пожеж у висотних будівлях та спорудах. Аналіз світового та вітчизняного досвіду свідчить, що про розробці нових рецептур піноутворювачів, які відповідають нормативним вимогам за вогнегасною здатністю, цілком можна уникнути використання в рецептурах екологічно небезпечних компонентів.
9. За результатами експериментальних досліджень виявлено негативний характер змінення показника мінімальної вогнегасної концентрації бінарних сумішей газових вогнегасних речовин – озоноруйнівного хладону 2402 та хладону «Novac» - 1230 з нульовим озоноруйнівним потенціалом. Перевищення значень вогнегасних концентрацій таких бінарних сумішей із вмістом компонентів у діапазоні від 20% до 80 %, об., порівняно зі значеннями за наявності адитивного значення від 20% до 40%, тобто проявляється ефект антагонізму, який потрібно враховувати у разі застосування вогнегасних речовин у системах автоматичного газового пожежогасіння.
10. Розрахунковим методом визначено та експериментально підтверджено можливість застосування екологічно прийнятних бінарних сумішей озонобезпечного хладону 125 та діоксиду вуглецю в системах автоматичного газового пожежогасіння. Встановлено, що значення мінімальних вогнегасних концентрацій таких сумішей залежно від співвідношення компонентів змінюється адитивно;
11. Встановлено, що з урахуванням умов експлуатування газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом однією з екологічно прийнятної технології його протипожежного захисту замість використання озоноруйнівних хладонів 2402, 1301 та його бінарних сумішей з діоксидом вуглецю може бути застосування азоту за концентрації не менше 65%, об.;
12. За результатами комп'ютерного моделювання роботи системи попередження пожежі та вибуху технологічних об'єктів першого ступеню ракети-носія із використанням програмного забезпечення Fire Dynamics Simulation та експериментальних досліджень обґрунтовано застосування і визначено параметри надавання екологічно прийнятної газової вогнегасної речовини-азоту в сухі відсіки, що унеможливує займання ракетного пального Jet-A1 від висококалорійного джерела запалювання під час польоту та запобігає пожежі або вибуху із шкідливим впливом на довкілля. При цьому встановлені значення масової витрати азоту дорівнюють 0,142 кг·с<sup>-1</sup>; 0,077 кг·с<sup>-1</sup> та 0,250 кг·с<sup>-1</sup> для технологічних об'єктів хвостової частини, міжбакового, а також міжступінного відсіку відповідно, а тривалість його подавання повинна бути не менше за значення 300 с.
13. На підставі експериментальних масштабних випробувань із використанням модельних вогнищ за розробленою методикою встановлено працездатність технології тонкого розпилування екологічно прийнятних вогнегасних речовин з вмістом карбонату калію та піноутворювача типу AFFF в системі протипожежного захисту трансформаторів ТЕС за інтенсивності її подавання 0,05 кг·с / м<sup>2</sup>, що створює передумови зниження екологічного забруднення довкілля у разі виникнення пожежі і спрацювання системи пожежогасіння завдяки:
  - а) зменшення інерційності спрацювання системи (2 с порівняно з 15 хвилинами для системи пінного пожежогасіння);

б) зменшення тривалості ліквідування процесу горіння (5 с., порівняно з 15 хвилинами для системи гасіння піною).

14. За результатами експериментальних досліджень за розробленою методикою визначено значення і залежності відносних вогнегасних ефективностей у разі гасіння макетних вогнищ класу В за ГОСТ 27331 водними розчинами дигідрофосфату, сульфату, хлориду, бромиду, йодиду, перманганату, нітрату, карбонату, фероціаніду, феріціаніду, оксалату та біхромату калію від концентрацій солей, а також піноутворювачів загального й спеціального призначення у діапазоні від 0,1% до 1,0%, мас. Виявлено наявність синергізму вогнегасної здатності для рецептур з одночасним вмістом розчинів солей і 0,1-0,4%, мас. піноутворювачів. Також виявлено, що за своєю вогнегасною ефективністю в умовах експериментів водні розчини карбонату, нітрату та хлориду калію з вмістом до 0,4% мас. піноутворювачів у разі подавання їх тонкорозпилених струменів на поверхню горіння легкозаймистої рідини наближаються до аналогічного показника озононебезпечного хладону 2402, тобто можуть бути конкурентоспроможними альтернативними екологічно прийнятними вогнегасними речовинами.

15. За результатами узагальнення світового досвіду та власних досліджень розроблено технічні вимоги до рецептур водних вогнегасних речовин, придатних до застосування в модульних установках пожежогасіння із використанням технологій їх тонкого розпилювання.

16. Удосконалено методичну, нормативну та довідкову бази, які відносяться до сфери розроблення екологічно прийнятних вогнегасних речовин та технологій їх застосування.

## Література

1. Антонов А.В. Узагальнення і розвиток наукових основ розроблення та технології застосування екологічно прийнятних вогнегасних речовин/ Дисертаційна робота на здобуття ступеню доктора технічних наук, Київ – 2017. - 386 с.
2. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідків в Україні за 12 місяців 2018 року

[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>.

3. Тропинов А.Г. Взаимодействие смесей диаммонийфосфата и хлорида калия с активными радикалами пламени гептана / А.Г. Тропинов В.М. Жартовский, А.В. Антонов, А.Н. Баратов // Научный журнал Академии наук СССР «Кинетика и катализ» (том 29). - М.: 1990. – С. 524-527.
4. Апанович В.Н. Неаддитивные эффекты при подавлении пропан-воздушного пламени порошками / В.Н. Апанович А.Н. Баратов, А.В. Антонов, В.М. Жартовский // Научный журнал академии наук СССР «Кинетика и катализ» (том 31). - М.: 1990. – С. 204-206.
5. Научно-технический прогресс в пожарной охране / Юрченко Д.И., Аверин Ю.Ф., Антонов. А.В. и др.; под ред. Д.И. Юрченко – М.: Стройиздат, 1987. – 376 с.
6. Апанович В.Н., Антонов А.В., Жартовский В.М. Подавление углеводородных пламен бинарными порошковыми смесями // Средства порошкового пожаротушения: Сб. науч. тр. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. С. 23-27.
7. Дунюшкін В.О. Вплив неодноразовості спрацьовувань модулів системи порошкового пожежогасіння на ефективність гасіння горючих рідин / В.О. Дунюшкін, С.Ю. Огурцов, А.В. Антонов, П.В. Пивовар // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2011. - №2 (24). – С. 185-190.
8. Дунюшкін В.О. Дослідження з підвищення вогнегасної ефективності модулів порошкового пожежогасіння «СПРУТ» / В.О. Дунюшкін, С.Ю. Огурцов, П.В. Пивовар, О.А. Семенов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2011. - №1 (23). – С.47-50.
9. Антонов А.В. Теоретические и прикладные вопросы создания и производства огнетушащих веществ в Украине // Проблемы пожарной безопасности / Под ред. В.Г. Палюха. – Харьков: Мин. обр. Украины, МВД Украины., 1993. С. 102-105.
10. Антонов А.В. Теория и практика разработки огнетушащих веществ // Проблемы пожарной

- безпеки / під редакцією А.В. Антонова – Київ: МВС України, 1995. – С. 45 - 47.
11. Боровиков В.О., Білошицький М.В., Антонов А.В. Дослідження з розробки рецептури піноутворювача на основі альфаолефінсульфонатів натрію // Проблеми пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып. 7. – Харьков: ХИПБ МВД Украины. – 2000. – С. 41-46.
  12. Антонов А.В., Боровиков В.О., Білошицький М.В. Дослідження піноутворювача спеціального призначення для гасіння пожеж “ППЛВ-(Універсал)” і розроблення рекомендацій щодо його застосування // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. – №4. – К.: УкрНДПБ МВС України. – 2001. – С. 37-47.
  13. Боровиков В.О., Антонов А.В., Білошицький М.В. Розробка піноутворювачів для гасіння пожеж в Україні // Сборник научных трудов СИАЭП. – Вып. 4. – Севастополь: СИАЭП, 2001. – С. 177-182.
  14. Антонов А.В. Дослідження з розроблення піноутворювачів для застосування з морською водою / А.В. Антонов, М.В. Білошицький, В.О. Боровиков. Підвищення бойової ефективності, обґрунтування тактичних та технічних характеристик систем озброєння та техніки військово-морських сил України: Збірник наукових праць. Вып. 2 «Живучість корабля і безпека на морі». Севастопольський військово-морський інститут ім. П.С.Нахімова. – Севастополь: - 2001. – С. 37-40.
  15. Антонов А.В. Дослідження властивостей плівкоутворювальних піноутворювачів і розроблення рекомендацій щодо їх застосування для «підшарового» гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів / А.В. Антонов, В.О. Боровиков, М.В. Білошицький, Д.М. Деревинський // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2003. - №2 (8). – С. 58-64.
  16. Кісіль Т.Є. Застосування карбаміду з метою підвищення вогнегасної ефективності піни / Т.Є. Кісіль, В.В. Ковалишин, В.О. Боровиков, А.В. Антонов // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів: ЛПБ, 2003. – № 3. – С. 113-118.
  17. Антонов А.В. Основні положення проекту нової редакції інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння / А.В. Антонов, В. О. Боровиков, О. М. Слущька, Н. М. Козяр, М. В. Білошицький // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. – К.: УкрНДПБ МНС України, 2006. – Вип. 1(13). – С. 97-101.
  18. Відновлення показників якості водних і водопінних вогнегасних речовин – зарядів вогнегасників та систем пожежогасіння / Козяр Н.М., Боровиков В.О., Антонов А. В., Ковалишин В. В. // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2007. – № 11. – С.27-37.
  19. Сучасний стан проблеми розробки та використання екологічно безпечних газових вогнегасних речовин / А.В. Антонов, В.П. Орел, В.П. Стеценко, А.П. Кот // Наук. вісн. УкрНДПБ. – 2000. – № 1 – 2. – С. 10-13.
  20. Антонов А.В. Концепція зменшення залежності України від використання озоноруйнівних речовин групи галонів у сфері пожежної безпеки / А.В. Антонов, А.В. Гамера, В.В. Нехаев, В.О.Сушко // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2001. - №3. – С. 93-96.
  21. Цапко Ю.В. Визначення умов флегматизування азотом горючого газового середовища у фіксованому об’ємі залежно від параметрів надходження компонентів / Ю.В. Цапко, В.П. Орел, А.В. Антонов // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2002. - №2 (6). – С. 102-108.
  22. Деревинський Д.М. Дослідження інгібувальної, вогнегасної та флегматизувальної здатностей пентафторетану (НFC 125) та його сумішей з діоксидом вуглецю / Д.М. Деревинський, А.В.Антонов, В.М. Жартовський, Ю.В. Цапко // Пожежна безпека : Зб. наук. праць. – Л.: ЛПБ, УкрНДПБ МНС України, 2004. – Вип. 5.– С. 42-49.
  23. Антонов А.В., Деревинський Д.М. Пожежна небезпека та деякі шляхи удосконалення протипожежного захисту газокompресорних станцій // Пожежна безпека: збірник наукових праць – Львів: ЛПБ, 2005. № 6. – С.89-98.

24. Баланюк В.М. Інгібувальні властивості деяких аерозольотворювальних сполук (АУС) на основі солей калію / В.М. Баланюк, Ю.В. Цапко, А.В. Антонов, К.І. Соколенко // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2006. - №2 (14). – С. 66-69.
25. Боровиков В.О. Основні положення проекту нової редакції національного стандарту на газові вогнегасні речовини / В.О. Боровиков, А.В. Антонов, С.В. Пономарьов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2009. - №2 (20). – С. 74-77.
26. Ковалишин В.В. Моделювання гасіння пожеж в закритих об'ємах інгібіторами горіння / В.В. Ковалишин, А.В. Антонов, І.М. Зінченко, С.І. Гончаренко // Пожежна безпека - №22– 2013.- С. 113-120.
27. Антонов А.В. Вогнегасна ефективність бінарних сумішей галону 2402 та хладону 3 МТМ «Noves» 1230 / А.В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2013. - №2 (28). – С.198-202.
28. Дунюшкін В.О. Обґрунтування вибору газової вогнегасної речовини для флегматизації об'ємів «сухих» відсіків ракети-носія / В.О. Дунюшкін, С.Ю. Огурцов, А.В. Антонов, С.З. Цимбалістий // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2014. - № 1 (29). – С.108-114.
29. Турчин А.І. Теоретичні і практичні питання застосування технологій тонкого розпилювання водних вогнегасних речовин / А.І. Турчин, А.В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2008. - №1 (17). – С. 138-145.
30. Турчин А.І. Дослідження з визначення показників якості деяких водних вогнегасних речовин / А.І. Турчин, В.О. Боровиков, А.В. Антонов, Н.М. Козяр // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2008. - №2 (18). – С. 110-115.
31. Антонов А.В. Розроблення рекомендацій щодо проектування, монтування та експлуатації автоматичних систем комбінованого пожежогасіння модульного типу тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами / А.В. Антонов, А.І. Турчин // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. - №2 (22). – С. 159-165.
32. Антонов А.В. Інгібувальні та вогнегасні властивості тонкорозпилених водних вогнегасних речовин на основі карбонату і нітрату калію / А.В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2012. - №1 (25). – С. 117-125.
33. Антонов А.В. Вогнегасна ефективність струменів тонкорозпилених водних вогнегасних речовин / А.В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2013. - №1 (27). – С. 133-137.
34. Антонов А.В. Натурні вогневі випробування автоматичної установки пожежогасіння тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами на Курахівській ТЕС ТОВ «СХІДЕНЕРГО» / А.В. Антонов, А.І. Турчин // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2007. - №1 (15). – С. 98-102.
35. Козяр Н.М. Зберігання нафти і нафтопродуктів / Н.М. Козяр, В.О. Боровиков, А.В. Антонов, В.В. Ковалишин // Вісник ЛДУ БЖД 2007. - №1. – С. 12-18.

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Антонов Анатолій Васильович** (Київ) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Бойко Катерина Євгенівна** (Київ) – молодший науковий співробітник. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Буглак Олександра Валентинівна** (Київ) – молодший науковий співробітник. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Вітько Валерій Іванович** (Харків) – кандидат фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

**Гітуляр Анастасія Андріївна** (Запоріжжя) – аспірант. Запорізький Національний університет.

**Гладиш Анастасія Василівна** (Київ) – магістр факультету захисту рослин біотехнологій та екології. Національний університет біоресурсів і природокористування України.

**Гринько Олександр Максимович** (Київ) – кандидат технічних наук, експерт в галузі радіаційної та екологічної безпеки Наукового парку «ЧОРНОБИЛЬ». Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Денисенко Інна Юрївна** (Київ) – кандидат технічних наук, асистент кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Дудар Тамара Вікторівна** (Київ) – кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

**Єрмаков Віктор Миколайович** (Київ) – доктор технічних наук, доцент. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Іващенко Тарас Григорович** (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

завідувач кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Коваленко Григорій Дмитрович** (Харків) – доктор фізико-математичних наук, професор. Інститут фізики високих енергій і ядерної фізики. Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут».

**Луньова Оксана Володимирівна** (Київ) – кандидат технічних наук, доцент. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Мнухін Анатолій Григорович** (Запоріжжя) – доктор технічних наук, професор. Інженерний інститут Запорізького Національного університету.

**Ольховик Юрій Олександрович** (Київ) – доктор технічних наук, завідувач відділу. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

**Орленко Тетяна Анатоліївна** (Київ) – магістр екології. Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України.

**Печений Володимир Леонідович** (Київ) – асистент кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Полякова Ірина Олександрівна** (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». Начальник департаменту ядерних технологій та радіаційної безпеки LLC «TechnoChemAtom».

**Тищенко Юрій Євгенович** (Київ) – кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

**Улицький Олег Андрійович** (Київ) – доктор геологічних наук. Директор Навчально-наукового інституту екологічної безпеки та управління. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

**Фаррахов Олександр Володимирович** (Київ) – кандидат технічних наук, провідний науковий

співробітник. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

**Фролов Валерій Федорович** (Київ) – доктор технічних наук, завідувач кафедри екології. Національний авіаційний університет.

**Хабарова Ганна Володимирівна** (Харків) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

**Шабалін Борис Григорович** (Київ) – доктор геологічних наук, завідувач відділу. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

**Шматков Григорій Григорович** (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, Лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки. Науково-виробниче підприємство «Центр екологічного аудиту та чистих технологій».

---

## ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ СТАТТІ

до наукового журналу «Екологічна безпека та технології захисту довкілля».

Обсяг статті не менше 6-ти повних сторінок.

1. Структура статті має відповідати вимогам до наукових статей й складатися з таких частин:

- УДК;
- назва статті;
- прізвище автора (авторів), назва організації та міста;
- анотація;
- ключові слова;
- загальна суть проблеми;
- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- формулювання мети статті;
- виклад основного матеріалу;
- висновки;

2. Статті публікуються українською, англійською, польською або російською мовами.

3. Автор зазначає рубрику, в якій публікується стаття, індекс за універсальною десятковою класифікацією. В кінці статті наводить повну назву організації, де виконане дослідження, свою поштову і електронну адресу та номер телефону. Кожний примірник статті повинен бути підписаний автором (авторами).

4. Фізичні величини наводяться в одиницях СІ.

5. Повна назва статті, анотація, ключові слова, а також написання прізвищ додаються українською, англійською, польською або російською мовами.

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

1. Текстовий редактор – Word for Windows.
2. Розмір сторінки: А5, 148x210.
3. Поля: верхнє, лівє, правє – 1,5 см, нижнє – 1,7 см.
4. Розмір шрифту «Times New Roman».
  - Для УДК – 10 кегель, великі літери, жирний шрифт.
  - Для заголовку статті 10 кегель, великі літери, жирний шрифт.

- Для прізвища авторів – 10 кегель, жирний шрифт.
  - Для назви організації і міста – 10 кегель, нормальний шрифт.
  - Для анотації, ключових слів та реферату (3-4 рядки через 1 інтервал) – 10 кегель, жирний шрифт.
  - Для заголовків розділів в тексті – 10 кегель, жирний шрифт.
  - Для основного тексту – 10 кегель, нормальний шрифт.
  - Для переліку використаних джерел (через 1 інтервал, слово Література) – 9 кегель, нормальний шрифт.
5. Текст друкується через 1 інтервал і вирівнюється на ширину листа.
  6. Абзацний відступ від основного тексту – 0,5 см.
  7. УДК, прізвище (-а) автора (-ів), назва статті, рядки тексту анотації, номери джерел вирівнюються по лівому краю сторінки.
  8. Формули необхідно друкувати по центру, нумерація формул в кінці рядка.
  9. Розмір формул такий: основний – 12; крупний індекс – 7; дрібний індекс – 5; крупний символ – 18; дрібний символ – 12.
  10. Якщо рисунок один чи таблиця одна на статтю, то підпис здійснюється «Рисунок. Назва» чи відповідно «Таблиця», а продовження «продовження таблиці». Якщо декілька, то «Рис.1. Назва» чи відповідно «Таблиця 1», а продовження «продовження табл. 1».
  11. Між рядком з вказаним індексом УДК і рядком з прізвищем автора (-ів), рядком з прізвищем автора (-ів) та назвою, назвою та анотацією, анотацією та текстом, текстом та переліком джерел – віддаль повина бути в 2 інтервали.
  12. Переноси в назві статті не допускаються.
  13. Нумерований перелік літератури подати в кінці статті одним абзацем, через крапку і оформлюється згідно ДСТУ 7,1:2006 (див. Бюлетень ВАК України №3, 2008).
  14. Нумерація джерел йде підряд і номер джерела виділяється жирним шрифтом. В переліку повинна вказуватись сучасна англійська література з ретроспективою не більше 5 років.

До статті подається рецензія від фахівця з науковим ступенем доктора наук і витяг з протоколу засідання кафедри про рекомендацію статті до друку.

**ІНТЕРНЕТ РЕСУРСИ:**

<https://vak.in.ua/>

[https://www.narodnaosvita.kiev.ua/?page\\_id=105](https://www.narodnaosvita.kiev.ua/?page_id=105)

[http://www.library.ukma.edu.ua/fileadmin/documents/Bibliography/26\\_DCTU3582-97.pdf](http://www.library.ukma.edu.ua/fileadmin/documents/Bibliography/26_DCTU3582-97.pdf)

---

**Для нотаток.**



**Екологічна безпека та  
технології захисту довкілля**

03035, м. Київ, вул. Василя Липківського, 35, корп.2  
Телефон: (044) 206-31-85

[www.npchornobyl.com.ua](http://www.npchornobyl.com.ua)  
[np\\_chornobul@ukr.net](mailto:np_chornobul@ukr.net)