

DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.21>  
УДК 621.039.7:628.3

**Бондар Ю.В.**

**Бондар Ю.В.**, кандидат геолого-мінералогічних наук, в. о. провідного наукового співробітника, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-5511-1387, [juliavad\\_peremoga@ukr.net](mailto:juliavad_peremoga@ukr.net)

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ, МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ПОВОДЖЕННЯ З РІДКИМИ РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ АВАРІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ АЕС ФУКУСИМА-1

**Анотація.** У процесі експлуатації об'єктів ядерно-паливного циклу утворюється великий обсяг рідких радіоактивних відходів, які становлять потенційну довгострокову екологічну небезпеку в зв'язку з високою питомою активністю, а також можливістю потрапляння радіоактивних продуктів у навколишнє середовище. Основними завданнями поводження з рідкими радіоактивними відходами (РРВ) є зниження їх об'єму і активності до досягнення залишкової активності рівня зняття з регулятивного контролю, та переведення РРВ у твердий стан для подальшого захоронення у вигляді твердих радіоактивних відходів. Серед методів, який був розроблений для цих цілей, є сорбційне вилучення радіонуклідів із застосуванням селективних сорбентів. Аварія на АЕС Фукусіма-1 стала однією з найсерйозніших в історії атомної енергетики, а роботи з дезактивації РРВ і подальшого використання очищених вод є прикладом сучасного поводження з рідкими радіоактивними відходами аварійного походження. У статті проаналізовано наявну інформацію щодо використання сучасних матеріалів, методів і технологій поводження з РРВ на АЕС Фукусіма-1 з метою узагальнення світового досвіду і виявлення сучасних тенденцій у цьому напрямі. Показано, що перша фаза очищення аварійних РРВ на установці, де поєднано систему селективної адсорбції (з застосуванням цеолітів), систему співосадження та систему зворотного осмосу, мала високу ефективність, але генерувала багато вторинних відходів. Заміна системи співосадження на додаткову систему селективної адсорбції (з застосуванням сучасніших селективних сорбентів) призвела до скорочення об'єму вторинних радіоактивних відходів. Для очищення високосольових розчинів суттєво ефективною виявилась технологія з використанням системи різних селективних сорбентів для послідовного видалення цільових радіонуклідів. Аналіз результатів поводження з РРВ із різним хімічним складом на АЕС Фукусіма-1 показав актуальність подальших розробок "під ключ" сучасних сорбційних матеріалів із селективними властивостями щодо різних радіонуклідів.

**Ключові слова:** АЕС Фукусіма-1, рідкі радіоактивні відходи, радіонукліди, селективні сорбенти, адсорбція, співосадження, зворотній осмос.

Переробка рідких радіоактивних відходів на АЕС Фукусіма-1 є найважливішим прикладом поводження з рідкими радіоактивними відходами (РРВ) різного хімічного складу й аварійного походження. На першому етапі поставарійного періоду для очищення РРВ були використані матеріали, методи і технології, готові «під ключ» для поводження з РРВ різного походження, тобто ті, що вже показали свою ефективність у різних регіонах світу. Проте надалі оперативний аналіз ефективності очищення РРВ на АЕС Фукусіма-1 сприяв коригуванню роботи вже діючих установок шляхом упровадження сучасніших технічних рішень. Тому вивчення досвіду використання матеріалів, методів і технологій поводження з РРВ на АЕС Фукусіма-1 допомагає виявити найсучасніші науково-технічні рішення і тенденції.

У цій статті викладено результати аналізування наявної інформації стосовно використання сучасних матеріалів, методів і технологій поводження з РРВ

на АЕС Фукусіма-1 з метою узагальнення світового досвіду і виявлення сучасних трендів у цьому напрямі. Основним інформаційним джерелом є публікація [1], в якій узагальнено науково-технічну літературу з переробки відходів АЕС Фукусіма-1 у 2011–2017 рр. Як вказано у ній, інформація з переробки відходів АЕС Фукусіма-1 дуже обмежена, тому дані для публікації були взяті головним чином із пресрелізів оператора електростанції *TEPCO (Tokyo Electric Power Company)* за період 2011–2017 [2] та конференцій *TEPCO*.

Після сильного землетрусу потужне цунамі відключило подачу енергії для трьох реакторів на атомній електростанції Фукусіма-1 у Японії 11 березня 2011 року. Для охолодження пошкоджених реакторів через один-три дні після аварії пожежними машинами було подано морську воду. Приблизно через два тижні було відновлено подачу електроенергії, а в реактори замість морської стали подавати прісну воду. Води, що нагнітали, накопичувались у підвалах реакторних

будівель і в залах турбін. Концентрація радіонуклідів у воді була дуже високою, оскільки вода перебувала в прямому контакті з розплавленим паливом.

Найбільшу частку активності в охолоджувальній воді складали ізотопи цезію  $^{134}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 2,1$  роки) та  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30$  років) у зв'язку з їх високою розчинністю та леткістю. Радіонуклід  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} = 29$  років) виявився другим за активністю в охолоджувальній воді. На початку аварії у РРВ також зафіксовано радіонуклід  $^{89}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} = 51$  доба). Оскільки стронцій має нижчу розчинність і леткість, ніж цезій, його концентрація у забруднених водах була значно нижчою від концентрації цезію. У перший рік води, що підлягали очищенню, крім радіонуклідів цезію і стронцію містили біля 60 різних радіонуклідів. До 2017 р. у результаті розпаду з початкових радіонуклідів залишилась третина. Для запобігання попаданню цих високоактивних вод із реакторних будівель у море було побудовано систему очищення та циркуляції очищеної води для охолодження реакторів.

**Перша система очищення (червень-вересень 2011): використання цеолітів та процесу співосадження.** Перша установка для очищення та циркуляції охолоджувальних вод була введена в експлуатацію у червні 2011 р. Вона складалась з **адсорбційної системи** для видалення радіонуклідів цезію за допомогою цеолітів, **системи співосадження** та **системи зворотного осмосу**. Отриманий пермеат повторно було спрямовано на охолодження реакторів, а сольові залишки – на зберігання в резервуари з метою подальшої переробки.

**Адсорбційна система** з цеолітами для першої установки була надана компанією *Kurion Inc.* (США), **система для співосадження** – компанією *Areva / Veolia* (Франція), а **система зворотного осмосу** – *Hitachi* (Японія). В установці послідовно використовували адсорбцію на цеолітах, співосадження, а потім зворотний осмос.

**Адсорбційна система з використанням цеолітів** *Kurion* для видалення радіоцезію складалась із чотирьох паралельних ліній, кожна з яких містила чотири адсорбційні ємності об'ємом  $1,2 \text{ м}^3$ , заповнених цеолітом. Як адсорбційна фаза був використаний цеоліт гершеліт (особливий тип шабазиту з загальною формулою  $(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Mg})_2[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . У роботі [3] повідомляли, що коефіцієнт розподілу цезію ( $K_d$ ) в адсорбційній системі *Kurion* з використанням гершеліту та модельного розчину (чиста вода) становив близько  $15000 \text{ мл/г}$ , тоді як у морській воді значення  $K_d$  впало до  $800 \text{ мл/г}$ . Це зменшення вказує на низьку селективність гершеліту у морській воді. Слід зазначити, що низька селективність у високосольових розчинах характерна для всіх природних цеолітів.

**У системі для співосадження** *Areva / Veolia* радіонукліди цезію співосаджували за допомогою фероціаніду калію-нікелю, а стронцію – за допомогою сульфату барію ( $\text{BaSO}_4$ ). Наприкінці процесу утворений шлам видаляли із резервуара. Об'єднана система

очищення *Kurion-Areva / Veolia* (адсорбція-співосадження) працювала лише три місяці, протягом яких система обробила загалом  $80 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  води, спрямовані потім у зворотному напрямі для охолодження пошкоджених реакторів. У цей початковий період активність забруднених вод становила  $1,5 \cdot 10^9 \text{ Бк/л}$ , а концентрація хлоридів –  $16 \text{ г/л}$ . Коефіцієнт очищення для  $^{137}\text{Cs}$  на цеолітах був у середньому досить низьким – 260. Для системи співосадження він варіював від 200 до 20000.

Однак у результаті застосування об'єднаної системи *Kurion-Areva / Veolia* утворилася велика кількість вторинних відходів ( $\sim 820 \text{ м}^3$ ), з яких  $580 \text{ м}^3$  (79 %) становив **шлам**, утворений у результаті **співосадження**, та  $240 \text{ м}^3$  – **відпрацьований цеоліт**. Утворення неприйнятно великої кількості вторинних відходів спричинило те, що система співосадження *Areva / Veolia* була повністю виведена з експлуатації. Після вересня 2011 р. адсорбційна система *Kurion* продовжувала працювати, але згодом поступово була замінена ефективнішою системою *SARRY* (*Simplified water retrieval and recovery system*), у якій для видалення цезію використано сучасні синтетичні селективні сорбенти – **силікотитанати**.

Низька ефективність об'єднаної системи *Kurion-Areva / Veolia*, на думку авторів [1], пов'язана з використанням системи в статичному режимі сорбції. Це утруднювало осадження осаду, у зв'язку з чим система співосадження *Areva / Veolia* мала низьку ефективність і виробляла високі обсяги вторинних відходів. Цеоліти, у свою чергу, не показали високої селективності до радіонуклідів цезію через високий солеміст у розчинах, що підлягали очищенню.

Тобто зрозуміло, що перша фаза очищення з використанням селективної сорбції на цеолітах і співосадження показала досить високу ефективність щодо зменшення активності охолоджувальних вод аварійного походження, але генерувала неприйнятно великий обсяг вторинних відходів (осади та відпрацьований цеоліт). Перша установка використовувала вже наявні, але дещо застарілі технології. Водночас у перший поставарійний період важливо було швидко встановити систему очищення води, щоб запобігти виходу забрудненої води з реакторних будівель у навколишнє середовище. **Тобто швидко побудована установка для очищення, дезактивації та циркуляції очищеної води для охолодження реакторів, базована на вже апробованих технологіях (системи селективної адсорбції з застосуванням цеолітів, співосадження радіонуклідів і зворотного осмосу) була ефективним технологічним рішенням щодо поводження з РРВ аварійного походження, проте надалі потребувала вдосконалення.**

**Друга система очищення (з вересня 2011 р.): використання кристалічних силікотитанатів та цеолітів.** У серпні 2011 р. було введено в експлуатацію нову систему очищення охолоджувальних вод. Система *SARRY* була заснована на видаленні радіонуклідів цезію за допомогою **кристалічного**

силікотитанату (CST) [1, 4]. Цей сорбент у натрієвій формі виробляє компанія *UOP LLC* (США) під торговою маркою *IONSIV™ R9120* (раніше називався *IE-911*) [5]. Система була розроблена та побудована компаніями *Shaw* та *Avantech Inc.* (США), і *Toshiba* (Японія). Систему *SARRY* складають чотири іонообмінні колонки 1,95 м<sup>3</sup> (1040 кг), встановлені послідовно. Приблизно через місяць після введення в експлуатацію системи *SARRY* система *Areva / Veolia* була виведена з експлуатації і система *SARRY* функціонувала паралельно з цеолітною системою *Kurion*. З червня 2012 р. система *SARRY* була переважно відповідальна за видалення цезію, а система *Kurion* (цеоліти) залишалась резервною. У 2011–2017 рр. цими системами було опрацьовано загалом 1,88•10<sup>6</sup> м<sup>3</sup> стічних вод. 2013 року максимальний річний обсяг очищених вод становив 0,35•10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>, а 2017 зменшився майже вдвічі.

Частка очищених вод з використанням системи *Kurion* (цеоліти) у загальному обсязі очищених вод складала 62 % у 2011 році, близько 17 % у 2012–2016 роках та лише 5 % у 2017 р.

Хоча між двома системами очищення води не спостерігалось суттєвих відмінностей у коефіцієнті очищення, загальна ефективність використання обох систем істотно різна (табл. 1). У результаті використання системи *Kurion* було вироблено в 2,5 рази більше вторинних твердих відходів, хоча вона була використана для обробки лише 20 % вод. Пропускна здатність системи *SARRY* (тобто кількість об'ємів води на одиницю об'єму сорбенту) була приблизно вдсятеро вищою, ніж у системи *Kurion*.

**Таблиця 1.** Ефективність використання адсорбційних систем *Kurion* і *SARRY* для вилучення радіонуклідів цезію з охолоджувальних вод на АЕС Фукусіма-1 [1]

Період 2011-2017	Система <i>Kurion</i>	Система <i>SARRY</i>
Кількість колонок	763	192
Об'єм сорбенту, м <sup>3</sup>	917	374
Вага сорбенту, т	824	390
Пропускна спроможність (об'єми колонок)*	392	3760
Об'єм обробленої води на 1 кг сорбенту, м <sup>3</sup>	0,44	3,62

Note: для розрахунку пропускної спроможності об'єм обробленої води поділений на кількість об'ємів колонок.

Таким чином, використання селективних сорбентів для очищення РРВ призводить до накопичення значно меншого об'єму вторинних радіоактивних відходів.

**Система ALPS: Очищення сольового залишку у системі зворотного осмосу.** Для очищення сольового залишку (ретентату), який виник у результаті використання системи зворотного осмосу, 2013 р. було встановлено нову систему *ALPS (Advanced Liquid Processing System)*. Завданням цієї системи було зменшення концентрації радіонуклідів до рівня, за якого вже можна скидати очищені води в море. У перший рік води, що підлягали очищенню, містили 62 радіонукліди. До

2017 р. у результаті розпаду з початкових радіонуклідів залишилась одна третина.

Було розроблено три системи *ALPS*. Перша, *ALPS-1*, яка була запропонована *Energy Solutions* (США), складається з трьох етапів обробки, а саме: **попередньої обробки, сорбції та остаточної обробки**. У ході попередньої обробки використовували гідроксид заліза та карбонати. Гідроксид заліза було застосовано для осадження головним чином радіонуклідів трансуранових елементів (ТУЕ), <sup>60</sup>Co (T<sub>1/2</sub> = 5,2 років) та <sup>54</sup>Mn (T<sub>1/2</sub> = 1 рік). Використання карбонатів сприяло видаленню кальцію та магнію, іони яких конкурують з радіонуклідами стронцію у ході сорбційного процесу. Осадження карбонатів не тільки призвело до зниження концентрацій кальцію та магнію від сотень ppm до менше 5 ppm, але й до осадження понад 90 % <sup>90</sup>Sr [6].

Результати **етапу попередньої обробки** системи *ALPS-1* показали високу ефективність видалення радіонуклідів (~ 95 %) [6], проте у розчині залишились радіонукліди, які не осідали у вигляді гідроксидів або карбонатів (Cs, I, Tc, Ru, Sb та ін). **Сорбційний етап** використовував сорбційні колонки з неорганічними сорбентами, хелатувальними смолами, активованим вугіллям та гібридними сорбентами. За даними [1], було використано сім видів сорбентів (табл. 2). Важливу роль у роботі системи *ALPS-1* мали сорбенти компанії *Fortum* (Фінляндія) – фероціанідний сорбент *CsTreat®* для селективного зв'язування радіонуклідів цезію та сорбент *SrTreat®* (титанати) для селективного зв'язування радіонуклідів стронцію [7].

**Таблиця 2.** Адсорбенти, які були використані на сорбційному етапі системи *ALPS-1* на АЕС Фукусіма-1 [1]

Сорбент	Кількість колонок	Радіоактивні речовини
Активоване вугілля	1	Колоїди
Модифіковане вугілля	2	I
Титанати	3	Sr і інші іони M <sup>2+</sup>
Фероціаніди	2	Cs (Co, Ru)
Оксид титану	4	Sb
Хелатуючі смоли	2	Co, іони M <sup>2+</sup> /M <sup>3+</sup>
Гібридні сорбенти	2	Фінішне очищення

**Другу систему ALPS-2** від *Energy Solutions* (США) було введено в експлуатацію у вересні 2014 р. Вона була дуже схожа на першу систему *ALPS-1*, за винятком того, що була видалена стадія співосадження з використанням гідроксиду заліза і додано два нові сорбенти. Під час повномасштабного тестування було з'ясовано, що система *ALPS-1* не видаляє <sup>60</sup>Co, <sup>106</sup>Ru, <sup>125</sup>Sb та <sup>129</sup>I достатньо ефективно, щоб досягти необхідного рівня активності. Ця проблема була вирішена шляхом додавання ще двох сорбентів до системи *ALPS-2* та заміни сорбентів. Немає інформації, які сорбенти було замінено. Води, вже оброблені на *ALPS-1* з недостатнім очищенням від <sup>60</sup>Co, <sup>106</sup>Ru, <sup>125</sup>Sb та <sup>129</sup>I, були очищені повторно за допомогою системи *ALPS-2*.

Третя система ALPS-3 від Hitachi (Японія) була введена в експлуатацію у жовтні 2014 р. Її завданням було видалення радіонуклідів цезію та стронцію за допомогою п'яти колонок із силікотитанатом. Крім того, замість співосадження ця система використовувала чотири фільтри перед колонками з силікотитанатом [8, 9]. Повна інформація про ці фільтри відсутня.

До кінця 2017 р. системи ALPS обробили загалом  $842 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup> сольового залишку. ALPS-1 виконала 52 % обробки, ALPS-2 – 35 %, і лише 13 % було виконано на ALPS-3. Остання система, ALPS-3, функціонувала лише 1,5 року. За даними тестування системи ALPS-3, 2015 р. <sup>90</sup>Sr був видалений з  $82 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup> сольового залишку зворотного осмосу з коефіцієнтом очищення від 100 до 1000. Ці значення були набагато нижчими за ті, які були отримані в інших системах ALPS. Імовірною причиною такої низької ефективності є те, що попередні випробування недооцінили вплив кальцію, магнію та калію на адсорбцію радіонуклідів цезію та стронцію з використанням титанатів [10].

Принципова схема очистки РРВ на АЕС Фукусіма-1 представлена на рис. 1.

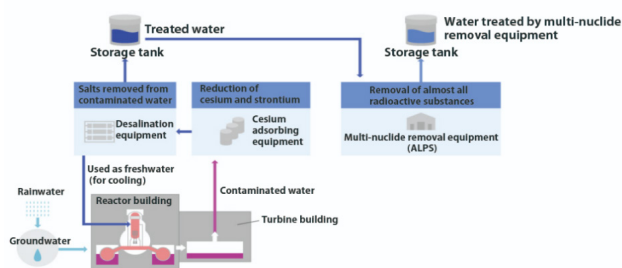


Рис. 1. Принципова схема очистки РРВ на АЕС Фукусіма-1 [https://cnic.jp/english/?p=4219]

Отже, для очищення високосольових РРВ високу ефективність продемонструвала система, що складається з колонок із різними видами селективних сорбентів для послідовного видалення різних радіонуклідів.

До 2017 року майже мільйон кубічних метрів води, очищеної системами ALPS, зберігався у 650 резервуарах, кожен об'ємом понад 1000 м<sup>3</sup>. Води й досі зберігаються в резервуарах, оскільки вони містять тритій (<sup>3</sup>H), який не може бути видалений із використанням систем ALPS. Тритій має період напіврозпаду 12 років і не може бути виділений із води будь-яким прийнятним методом. Рівень активності тритію в стічних водах був досить високим –  $(1-5) \cdot 10^6$  Бк/л. Для безпечного скидання в море розчин може бути розведений у 50–100 разів. Причина, через яку це не було зроблено, ймовірно, не пов'язана з технічними можливостями, а має політичний характер.

**Висновки.** 1. Перша фаза очищення аварійних РРВ на побудованій установці, яка передбачала використання системи селективної адсорбції (із застосуванням цеолітів), системи співосадження та системи

зворотного осмосу, була ефективною, але генерувала неприйнятно великий обсяг вторинних відходів (осади (79 %) та відпрацьований цеоліт (21 %)).

2. Заміна системи співосадження додатковою системою селективної адсорбції (із застосуванням високо-селективних до радіонуклідів цезію кристалічних силікотитанатів) призвела до підвищення ефективності очищення та накопичення значно меншого об'єму вторинних радіоактивних відходів.

3. Для очищення високосольових розчинів ефективною виявилась система, яка включала ряд колонок із різними видами селективних сорбентів для послідовного видалення радіонуклідів.

4. Актуальною залишається проблема видалення тритію з РРВ.

5. Аналіз результатів поведінки з аварійними РРВ із різним хімічним складом на АЕС Фукусіма-1 продемонстрував актуальність подальших розробок "під ключ" сучасних сорбційних матеріалів з селективними властивостями щодо різних радіонуклідів.

## References

1. Lehto, J., Koivula, R., Leinonen, H., et al. (2019), Removal of Radionuclides from Fukushima Daiichi Waste Effluents, *Separ. Purif. Reviews*, 48 (2): 122-142.
2. <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/indexold-e.html> (Information from the official website of the TEPCO; accessed April 15, 2022).
3. Tsukada, T., Uozumi, K., Hijikata, T., et al. (2014), Early construction and operation of highly contaminated water treatment system in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (I) – ion exchange properties of KURION herschelite in simulating contaminated water, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 51: 886-893. <https://doi.org/10.1080/00223131.2014.921582>
4. Braun, J., Barker, T. (2012), Fukushima Daiichi emergency water treatment, *Nucl. Plant J.*, 30(1): 36-37.
5. Pease L.F., Fiskum S.K., Colburn H.A., Schonewill P.P. (2019), Cesium Ion Exchange with Crystalline Silicotitanate: Literature Review, *PNNL-28343, Rev.0; RPT-LPTTS-001, Rev. 0*. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington
6. Sylvester, P., Milner, T., Jensen, J. (2013), Radioactive liquid waste treatment at Fukushima Daiichi, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 88: 1592-1596. <https://doi.org/10.1002/jctb.4141>
7. Tusa E. (2014), Efficiency of Fortum's CsTreat® and SrTreat® in cesium and strontium removal in Fukushima Daiichi NPP, ENC2014, Marseille, France (Information from the official website of the Fortum: [https://www.fortum.com/sites/default/files/documents/efficiency\\_of\\_fortums\\_cstreat\\_and\\_srtreat\\_fukushima.pdf](https://www.fortum.com/sites/default/files/documents/efficiency_of_fortums_cstreat_and_srtreat_fukushima.pdf); accessed July 19, 2022).
8. Kani, Y., Asano, T., Tamata, S. (2014), A new adsorbent for simultaneous removal of cesium and strontium, *40th Annual Waste Management Conference (WM2014)*, paper 14110. <https://xcdsystem.com/wmsym/archives/2014/index.html>
9. Kani, Y., Asano, T., Kamoshida, M., et al. (2016), RO concentrated water treatment equipment for risk reduction of contaminated water stored in tank in Fukushima NPS, *42nd Annual Waste Management Conference (WM2016)*, paper 16655. <https://www.wmsym.org/archives/2016/index.html> (accessed April 15, 2022).
10. Möller, T., Harjula, R., Lehto, J. (2003), Ion exchange of <sup>85</sup>Sr, <sup>134</sup>Cs and <sup>57</sup>Co in sodium titanolsilicate and the effect of crystallinity on selectivity, *Sep. Purif. Technol.* 28: 13-23. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(02)00004-7)

**ANALYSIS OF MODERN MATERIALS, METHODS AND TECHNOLOGIES OF EMERGENCY LIQUID RADIOACTIVE WASTE TREATMENT USED AT THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT****Yu. Bondar****Bondar Yu.V.**, PhD (Geol.&Min.), senior sci., State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID 0000-0002-5511-1387, juliavad\_peremoga@ukr.net

**Abstract.** *The operation of nuclear facilities generates large volumes of liquid radioactive waste which poses a potential long-term environmental hazard due to its high radiation activity and the possibility of the radioactive products release into the environment. The main objectives of liquid radioactive waste (LRW) management are to reduce the volume and radiation activity of liquid effluents unless the level of the residual activity allows excluding the LRW from the regulating control, as well as to transfer the LRW to a solid-state for further disposal in the form of solid radioactive waste. One of the methods that has been developed for these purposes is the sorption removal of radionuclides with the application of selective adsorbents. The accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant (NPP) has become one of the most serious in the nuclear industry. The works on the decontamination of radioactive effluents and subsequent use of the treated waters carried out at the Fukushima NPP are examples of modern trends in the management of liquid radioactive waste of emergency origin. The present publication analyzes the available information on the use of modern materials, methods, and technologies for LRW treatment at the Fukushima NPP in order to generalize the world experience and identify the modern trends in this direction. It was shown that the first stage of the emergency LRW treatment at the special installation with a selective adsorption system (zeolite), a co-precipitation system, and a reverse osmosis system was rather effective but generated large volumes of secondary waste. The replacement of the co-precipitation system with an additional selective adsorption system (using more selective adsorbents) has led to increasing efficiency and reducing secondary radioactive waste. For treatment of high-salt radioactive effluents, high efficiency has been demonstrated by the technology based on a system of various selective adsorbents for the consecutive removal of targeted radionuclides. Analysis of the results of the treatment of LRW of different chemical compositions at the Fukushima Daiichi nuclear power plant has demonstrated the relevance of further turnkey development of modern adsorption materials with high selectivity toward targeted radionuclides.*

**Key words:** *Fukushima Daiichi nuclear power plant, liquid radioactive waste, radionuclides, selective adsorbents, adsorption, co-precipitation, reverse osmosis.*