

М. І. Панасюк, Н. В. Сосонна, І. О. Коваленко, П. А. Люшня, Г. В. Левін, Л. А. Паламар,
Л. Б. Чикур, І. П. Онищенко*

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

**Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України, вул. О. Гончара, 55б,
Київ, 01054, Україна*

Зміни радіогідроекологічних умов під впливом установаження «Арки» над об'єктом «Укриття» Чорнобильської АЕС

Ключові слова:

вплив «Арки»,
проммайданчик Чорнобильської
АЕС,
підземні та блокові води,
радіонукліди,
основні іони,
рН,
міграція,
пальовий фундамент.

З установаженням «Арки» упроектне положення припинилося надходження атмосферних опадів в об'єкт «Укриття» і на ділянки, що його оточують. Припинення інфільтрації атмосферних опадів привело до зниження у 2–4 рази концентрацій основних іонів і величини мінералізації у верхній частині водоносного горизонту. У блокових водах концентрація основних іонів та мінералізація підвищились в 1,7–8 разів. Деякі водні скупчення у приміщеннях об'єкта «Укриття» висохли, що призвело до значного підвищення потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання. Концентрації тритію в підземних водах знизилися з 900–1 100 до 30–50 Бк/л. Об'ємні активності ^{90}Sr та трансуранових елементів залишилися незмінними. За межами «Арки» по окремих спостережних свердловинах спостерігається зростання мінералізації та концентрації іонів в 1,4–5 разів, можливо, під впливом контакту бетону пальового фундаменту нового безпечного конфайнмента з підземними водами.

Вступ

Для захисту довкілля від впливу аварійного 4-го блока Чорнобильської АЕС був збудований та встановлений у проектне положення в листопаді 2016 р. новий безпечний конфайнмент (НБК, далі — «Арка»). Характерною рисою водного режиму підземних і блокових вод на ділянці проектного положення «Арки» є припинення живлення їх водою через відсутність надходження атмосферних опадів. Відсутність інфільтрації атмосферних опадів не може не впливати на рівневий режим підземних вод та їхні гідрохімічні та радіохімічні умови. Ще

більш радикально впливає відсутність надходження атмосферних опадів на водні скупчення у приміщеннях об'єкта «Укриття», концентрація основних іонів і мінералізація блокових вод підвищується. Деякі водні скупчення зовсім висохли, що призвело до значного підвищення потужності еквівалентної дози (ПЕД) у цих приміщеннях через зменшення чи зникнення «захисного екрана» — шару води над активними донними відкладами блокових вод. Мета цієї роботи полягає в оцінці змін водного (рівневого) режиму, гідрохімічних та радіохімічних умов у підземних і блокових водах, які сталися після насування «Арки».

© М. І. Панасюк, Н. В. Сосонна, І. О. Коваленко, П. А. Люшня,
Г. В. Левін, Л. А. Паламар, Л. Б. Чикур, І. П. Онищенко

Підземні води

Рівневий режим

Спостереження за рівневим режимом підземних вод проводяться по кущах спостережних свердловин, що складаються з двох ярусних п'єзометрів із фільтрами, установленими на різні глибини. Спостережні свердловини поділяються на «мілкі», робоча частина фільтрової колони яких розміщується у верхній частині водоносного горизонту (інтервал позначок у Балтійській системі висот (БСВ) 105–110 м), і «глибокі», в яких цей конструктивний елемент розташовується в середній частині водоносного горизонту (позначки переважно 100–104 м). На першому уступі каскадної стіни до насування «Арки» по «мілких» свердловинах традиційно спостерігався так званий купол розтікання (свердловини 8-1А, 16-1А) високою 0,3 м, який свідчив про додаткове надходження води, що ми раніше пов'язували із зосередженою

інфільтрацією атмосферних опадів. Після насування «Арки» рівневий режим по свердловинах 8-1А, 16-1А та інших у межах купола розтікання не змінився (рис. 1 і 2). Таким чином, зрозуміло, що додаткове надходження води у водоносний горизонт на ділянці каскадної стіни, найімовірніше, пов'язане з впливом водонесучих комунікацій на відміну від іншого купола розтікання, який спостерігається по свердловинах С-4А, 3-Г та 30-1А [1], що розташовані біля південної стіни сховища рідких та твердих відходів (СРТВ) (див. рис. 1). На цій ділянці саме дощові води з даху СРТВ скидаються на рельєф та інфільтруються через радіоактивно забруднені ґрунти в підземні води, що й формує купол розтікання та підвищену концентрацію радіонуклідів у пробах підземних вод зі спостережних свердловин 3-Г, 30-1А, С-4А та ін. (рис. 3).

Ліквідація зосереджених скидів атмосферних опадів на поверхню промайданчика ЧАЕС дасть змогу значно зменшити радіоактивне забруднення довкілля.

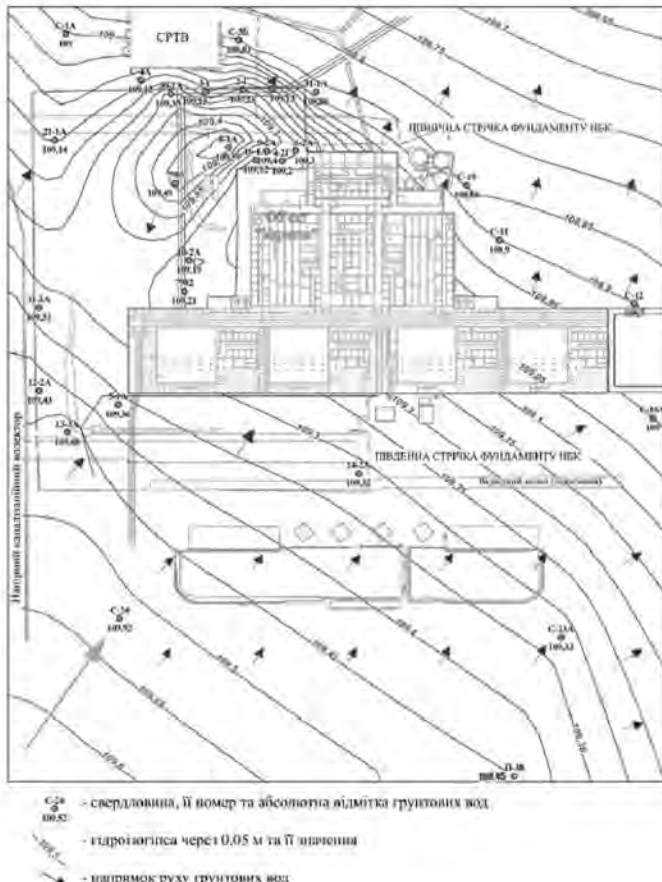


Рис. 1. Карта гідроізогіпс ґрунтових вод по «мілких» свердловинах на 1 лютого 2017 р. Куполи розтікання у вигляді замкнутих гідроізогіпс або на ділянках з їхніми значними деформаціями (біля СРТВ)

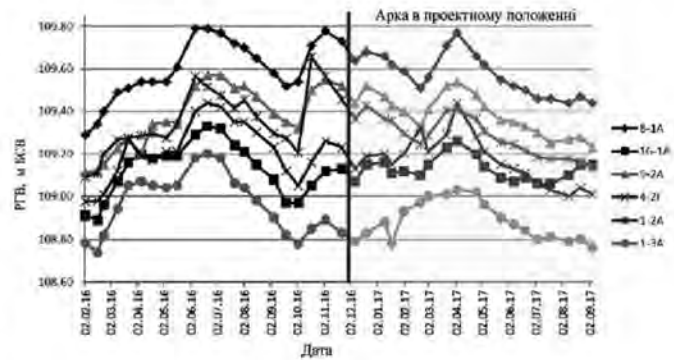


Рис. 2. Графіки коливання позначок рівня ґрунтових вод (РГВ) на ділянці формування купола розтікання під каскадною стіною об'єкта «Укриття» до та після насування «Арки». Графік по свердловині 1-3А використовується як фоновий

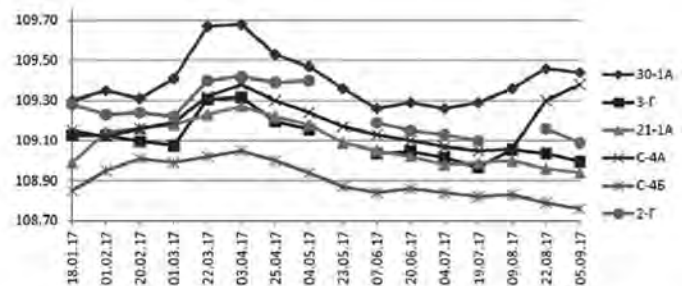


Рис. 3. Графіки коливання позначок рівня підземних вод по спостережних свердловинах біля СРТВ. Графіки по свердловинах С-4Б та 21-1А використовуються як фонові

Гідрохімічний режим

Після насування «Арки» змінилися гідрохімічні умови в підземних водах через відсутність інфільтрації атмосферних опадів та припинення надходження блокових вод у довкілля.

По свердловинах 16-1А та 1-2А зниження концентрацій основних іонів і величини мінералізації у верхній частині водоносного горизонту відбулося в 1,5–4 рази (рис. 4 і 5).

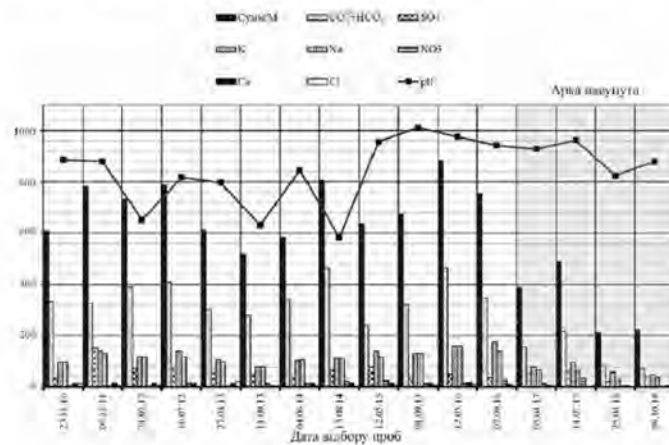


Рис. 4. Зменшення мінералізації та концентрації основних іонів по свердловині 16-1А після насування «Арки»

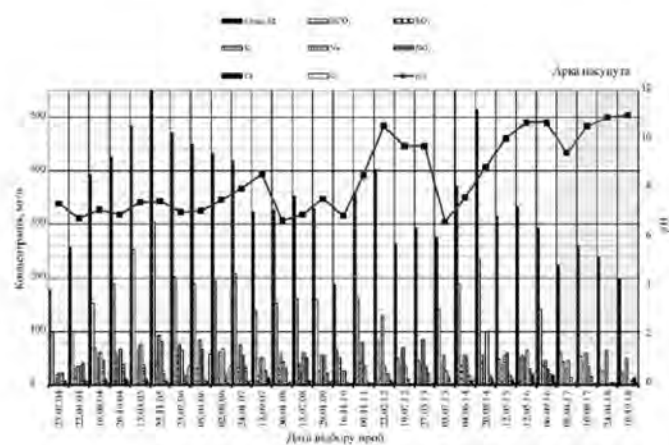


Рис. 5. Зменшення мінералізації та концентрації основних іонів по свердловині 1-2А після насування «Арки»

Таким чином, насування «Арки» привело до зменшення хімічного забруднення підземних вод. А вода з водонесучих комунікацій, завдяки втратам з яких формується купол розтікання біля першого уступу каскадної стіни, не має високої мінералізації.

Корозія бетону фундаменту «Арки», 424 палі якої перебивають водоносний горизонт на половину його потужності, може призвести до зміни хімічного складу підземних вод. Явних фактів, що підтверджують цей процес, поки що не зафіксовано. Але спостерігається зростання в 1,4–5 разів після листопада 2016 р. мінералізації та окремих іонів у пробах зі свердловини 31-1А, яка знаходиться в 10 м нижче за потоком підземних вод від північної стрічки фундаменту «Арки» (рис. 6). Цей факт потребує подальших спостережень та уточнень.

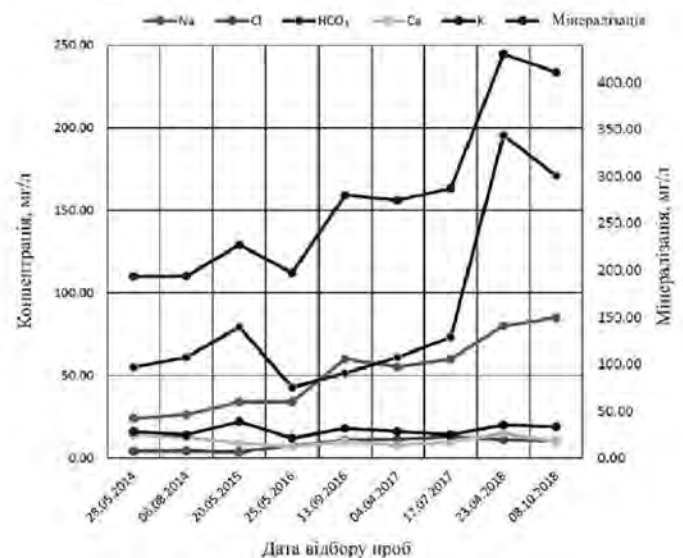


Рис. 6. Зростання мінералізації та концентрації окремих іонів по свердловині 31-1А

Радіохімічний режим

Тритій. Для оцінки умов надходження радіоактивно забруднених вод із приміщень зруйнованого блока в ґрунтові води як «природний» індикатор раніше застосовувався тритій. Серед джерел забруднення підземних вод тритій в істотних кількостях детектується тільки в блокових водах. Високі концентрації тритію нижче за течією ґрунтових вод від об'єкта «Укриття» (перший уступ каскадної стіни) вказували на місця радіоактивного забруднення водоносного горизонту за рахунок надходжень блокових вод і на негерметичність об'єкта «Укриття». Після насування «Арки» концентрації тритію знизилися з 900–1 100 до 30–50 Бк/л (рис. 7 і 8). Причина цього — припинення потрапляння блокових вод у довкілля. Разом з тим у 2018 р. у повній відповідності зі зміною напрямку руху підземних вод із північного на північно-східний під впливом виведення

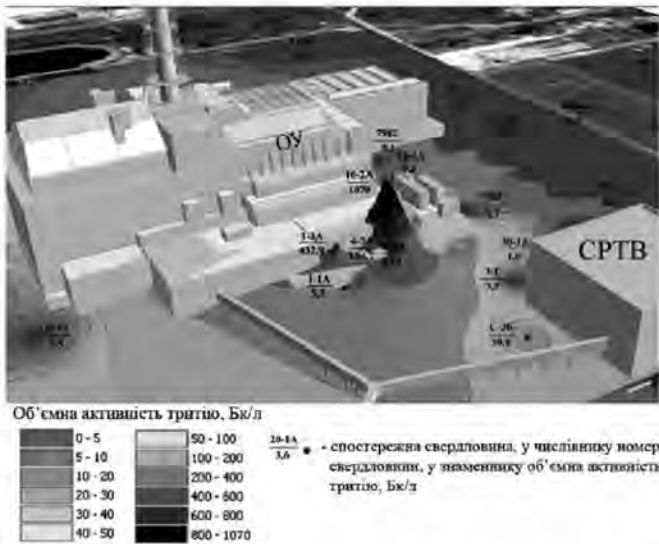


Рис. 7. Ореол розповсюдження тритію в пробах підземних вод у 2013 р.

водоймища-охолоджувача з експлуатації зафіксовано новий ореол розповсюдження тритію по свердловині С-10, яка розташована в північно-східному напрямку від об'єкта «Укриття» (див. рис. 8).

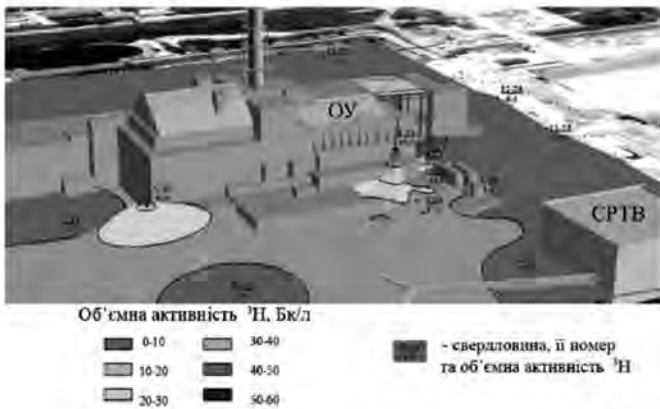


Рис. 8. Ореол розповсюдження тритію в пробах підземних вод у 2018 р.

Стронцій. Один з механізмів підвищення міграційної здатності радіонуклідів у підземних водах пов'язаний із формуванням сильнолужного середовища з рН більше 9,5 [2-4]. Високі значення рН формуються безпосередньо під час контакту ґрунтових вод з бетоном фундаментів споруд чи надходженням у водоносний горизонт водних мас, що контактували з бетоном. Разом з тим, незважаючи на припинення інтенсивного надходження у водоносний горизонт інфільтраційних та блокових вод, значного зменшення величини рН та об'ємних активностей радіо-

нуклідів, крім тритію, у підземних водах під «Аркою» поки що не відбувається (рис. 9). Причину цього буде встановлено при подальших дослідженнях.

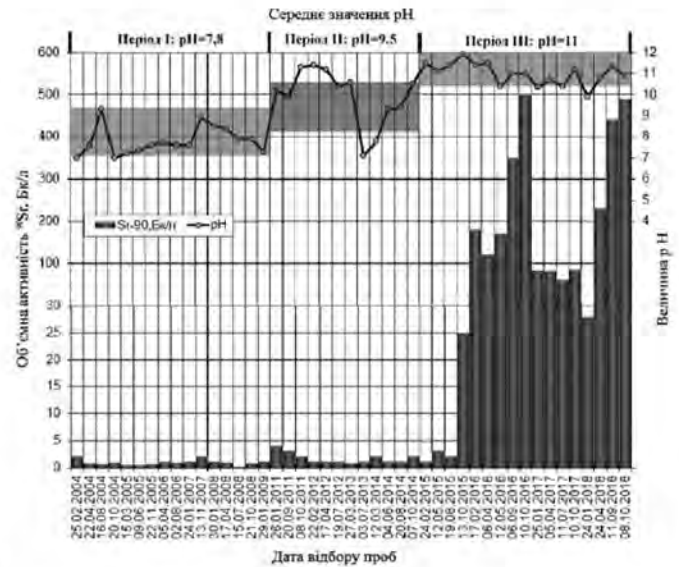


Рис. 9. Динаміка об'ємної активності ⁹⁰Sr і величини рН у пробах ґрунтових вод зі свердловини 1-2А

Блокові води

Рівневий режим

Рівневий режим найбільшого скупчення води (близько 300 м³) у приміщенні 001/3 об'єкта «Укриття» спостерігається з 1997 р. у рамках проведення радіогідроекологічного моніторингу об'єкта «Укриття». На відміну від інших скупчень води, рівні води в цьому приміщенні мало змінюються з часом. Після насунання «Арки» рівні води по точці спостереження (т. с.) 30 знизились на 2-3 см, після чого коливаються з амплітудою 1 см (рис. 10). Це вказує на стабілізацію надходження та витрат блокових вод у цьому приміщенні. Раніше за допомогою трасера NaBr [5] було доведено гідравлічний зв'язок водного скупчення в приміщенні 001/3 з водним скупченням у приміщеннях 012/5-8. Враховуючи, що останні заповнені водою, то логічно говорити про наявність постійного перетоку води з цих приміщень у приміщення 001/3. Таким чином, підтримується майже постійний рівень води в скупченні приміщення 001/3. Водний баланс блокових вод у приміщеннях об'єкта «Укриття» впливає на гідрохімічні та радіохімічні умови водних скупчень.

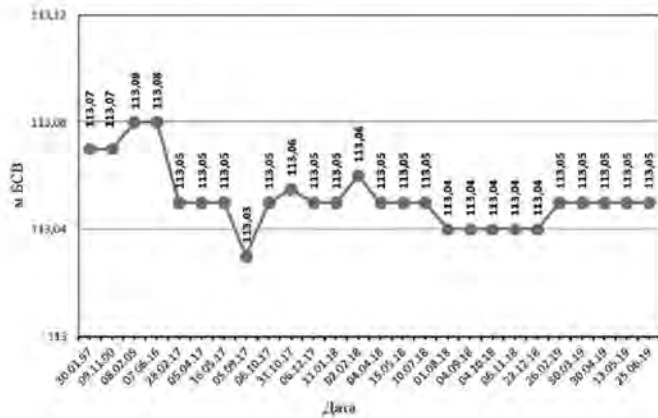


Рис. 10. Зниження позначок рівня води у приміщенні 001/3 (т. с. 30) після насування «Арки»

Гідрохімічні умови

У повній відповідності зі стабільним режимом також спостерігаються стабільні гідрохімічні умови водного скупчення в приміщенні 001/3. Після насування «Арки» мінералізація та концентрації основних іонів майже не змінюються (рис. 11 і 12).

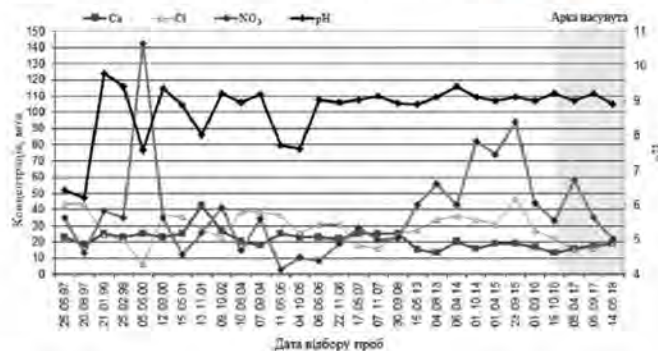


Рис. 11. Динаміка концентрацій основних іонів та рН у воді приміщення 001/3 (т. с. 30)

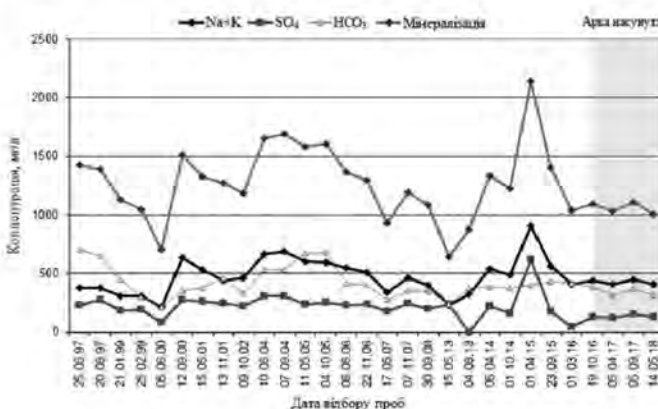


Рис. 12. Динаміка мінералізації та концентрацій основних іонів у воді приміщення 001/3 (т. с. 30)

В інших водних скупченнях, що висихають, насування «Арки» призвело до підвищення мінералізації та концентрацій основних іонів (рис. 13 і 14).

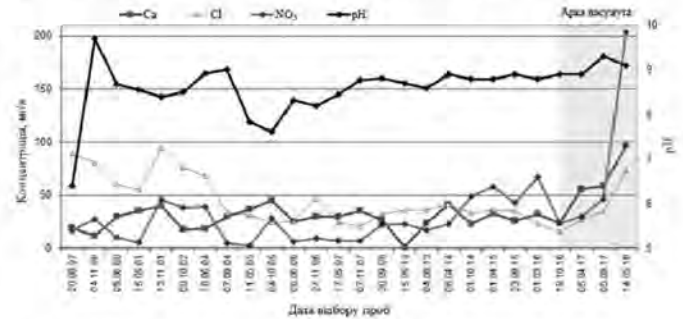


Рис. 13. Динаміка концентрацій основних іонів у воді приміщення 012/7 (т. с. 32)

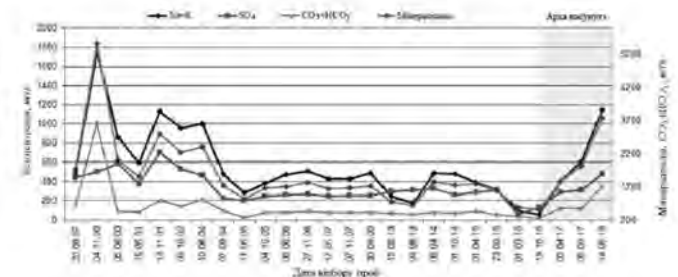


Рис. 14. Динаміка мінералізації та концентрацій основних іонів у воді приміщення 012/7 (т. с. 32)

Як видно з рис. 11 і 13, у блокових водах спостерігаються різкі коливання концентрації іонів нітрату, але це пов'язано з періодичним уведенням в об'єкт «Укриття» з пилопригнічуючими розчинами азотнокислого гадолінію для запобігання нейтронної активності.

Радіохімічні умови

Тритій. Тритій у воді входить до складу її молекули, тому при випаровуванні концентрація його не повинна зростати, на відміну від інших елементів, у тому числі радіонуклідів, що знаходяться у воді в розчиненому стані чи у вигляді колоїдів. Але після насування «Арки» по т. с. 32, 35 та 20 спостерігається підвищення концентрації тритію в 3–5 разів (рис. 15 і 16). По цих точках спостерігаються блокові води, що пов'язані з підреакторними приміщеннями. Можливе зростання концентрацій тритію, пов'язане з підвищенням щільності потоків нейтронів [6] у підреакторних приміщеннях після насування «Арки» (рис. 17). Але цей факт потребує додаткових доказів з виконанням прогнозних розрахунків підвищення концентрацій тритію під впливом зростання щільності потоку нейтронів.

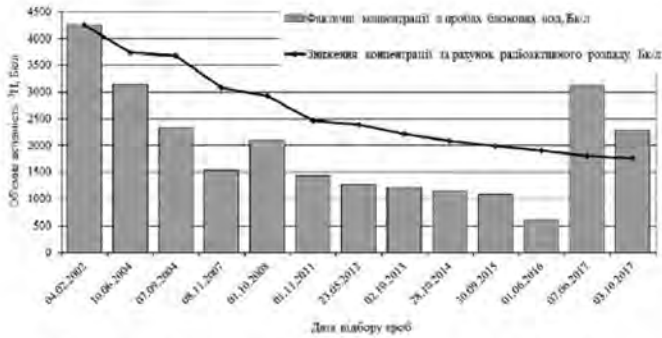


Рис. 15. Динаміка концентрацій тритію у воді зі свердловин, пробурених із приміщень 207/4-5 у підреакторні приміщення (т. с. 35)

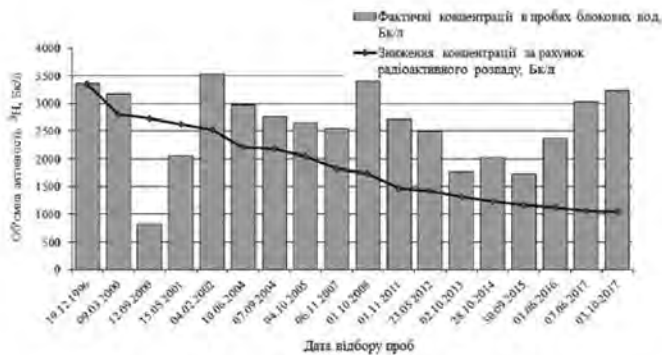


Рис. 16. Динаміка концентрацій тритію у воді приміщення 01/3 (труба з паророзподільного коридору, т. с. 20)

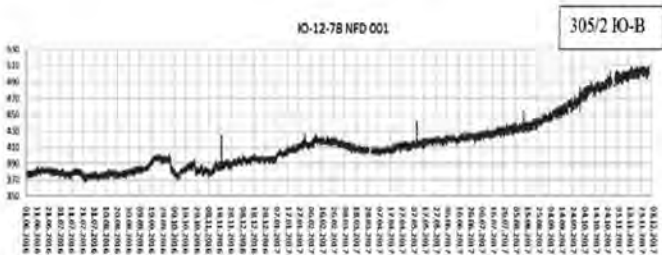


Рис. 17. Динаміка щільності потоків нейтронів у підреакторних приміщеннях за даними СКЯБ ІАСК

Висновки

1. З установленням «Арки» в проектне положення значно полішилися гідрохімічні та радіоекологічні умови в підземних водах.
2. Підвищення мінералізації та концентрацій основних іонів та радіонуклідів у блокових водах потребує розробки нових засобів поводження з водними скупченнями та активними осадами в приміщеннях об'єкта «Укриття».

3. Підвищення мінералізації призводить до підвищення розчинної спроможності блокових вод, що у свою чергу може спричинити додатковий перехід радіонуклідів з активного осаду у воду скупчень, що висихають.

4. Зростання об'ємних активностей радіонуклідів за рахунок випаровування та підвищення розчинності блокових вод може призвести до формування радіоактивно забруднених водних мас, які за рівнями концентрацій радіонуклідів будуть відноситися до високоактивних рідких радіоактивних відходів.

Список використаної літератури

1. Радиогидроэкологический мониторинг в районе об'єкта «Укрытие». Этап 2. Проведение радиогидроэкологического мониторинга по второму этапу 2017 г.: (Заключит. отчет о НИР); дог. № 373/16 от 06.04.2017 г. / Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины. — Руководитель Н. И. Панасюк. — № ГР 0117U002964. — Чернобыль, 2017. — 200 с.
2. Панасюк М. І. Закономірності розподілу урану в підземних водах промайданчика ЧАЕС / М. І. Панасюк, І. А. Литвин // Ядерна фізика та енергетика. — 2017. — Т. 18, № 1. — С. 56–62.
3. Data analysis of radiation and hydroecological monitoring of ground waters located at the industrial site of Chernobyl NPP / D. Matrosov, A. Shevchenko, A. Nosovskyi, M. Panasiuk // XII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment» (Kyiv, 13–16 November 2018). — 1 електрон. опт. диск (CD-ROM).
4. Soils and Ground Water's Radioactive Contamination into the Local Zone of the «Shelter» Object and Industrial Site of Chernobyl NPP / M. I. Panasyuk, I. A. Lytvyn, E. P. Liushnya, A. M. Alfyoroff, G. V. Levin, V. M. Shestopalov // Proceedings of the 7th International Conference on Uranium Mining and Hydrogeology «Uranium — Past and Future Challenges». — 2015. — P. 657–664.
5. Жидкие радиоактивные отходы внутри об'єкта «Укрытие» / А. А. Корнеев, А. П. Криницын, О. Л. Стрихарь, В. Н. Щербин // Радиохимия. — 2002. — Т. 44, № 6. — С. 545–552.
6. Высотский Е. Д. Динамика нейтронной активности и подкритичности ядерно-опасного скопления в условиях комплекса НБК-ОУ / Е. Д. Высотский, Р. Л. Годун, А. А. Дорошенко // Проблемы безопасности атомных электростанцій і Чорнобиля. — 2018. — Вип. 30. — С. 78–86.

**Н. І. Панасюк, Н. В. Сосонна, І. О. Коваленко,
П. А. Люшня, Г. В. Левин, Л. А. Паламарь,
Л. Б. Чикур, І. П. Онищенко***

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины,
ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

**Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических
полигонных исследований НАН Украины, ул. О. Гончара,
556, Киев, 01054, Украина*

Изменения радиогидроэкологических условий под влиянием установки «Арки» над объектом «Укрытие» Чернобыльской АЭС

С установкой «Арки» в проектное положение прекратилось поступление атмосферных осадков в объект «Укрытие» и на окружающие его участки. Прекращение инфильтрации атмосферных осадков привело к снижению в 2–4 раза концентраций основных ионов и величины минерализации в верхней части водоносного горизонта. В блочных водах объекта «Укрытие» концентрация основных ионов и минерализация повысились в 1,7–8 раз. Некоторые водные скопления в помещениях объекта «Укрытие» высохли, что привело к значительному повышению мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Концентрации трития в подземных водах снизились с 900–1100 до 30–50 Бк/л. Объемные активности ^{90}Sr и трансурановых элементов пока остались неизменными. За пределами «Арки» по отдельным наблюдательным скважинам наблюдается рост минерализации и концентрации ионов в 1,4–5 раз, возможно, под влиянием контакта бетона свайного фундамента «Арки» с подземными водами.

Ключевые слова: влияние «Арки», промплощадка Чернобыльской АЭС, подземные и блочные воды, радионуклиды, основные ионы, рН, миграция, свайный фундамент.

**M. I. Panasiuk, N. V. Sosonna, I. A. Kovalenko,
P. A. Lyushnya, G. V. Levin, L. A. Palamar,
L. B. Chikur, A. A. Onishchenko***

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants,
NAS of Ukraine, 36a, Kirova st., Chernobyl, 07270, Ukraine*

**Scientific-Engineering Center for Radiohydroecological
Field Research, NAS of Ukraine, 55b, O. Gonchara st., Kyiv,
01054, Ukraine*

Changes of Radiohydroecological Conditions under Influence of the “Arch” Installation over the Shelter Object of the Chernobyl NPP

To protect the environment from the impact of the 4th Chernobyl emergency block, a new safe confinement (NSC, hereinafter referred to as “Arch”) was constructed and installed in the design position in November 2016. A characteristic feature of the water regime of groundwater and block water at the site of the design position of the “Arch” is the termination of their water supply due to the absence of precipitation. The cessation of atmospheric precipitation infiltration led to a reduction of 2 to 4 times the concentrations of the main ions and the amount of mineralization in the upper part of the aquifer. In the block waters of the “Shelter” object (SO), the concentration of the main ions and mineralization increased by 1.7–8 times. Some water clusters in the premises of the SO have dried up, which has led to a significant increase of a gamma radiation Equivalent Dose. One of the mechanisms for enhancing the migration capacity of radionuclides in groundwater is associated with the formation of a highly alkaline environment with a pH greater than 9.5. High pH values are formed directly upon contact of groundwater with concrete of the foundations of structures or the entry into the aquifer of water masses in contact with concrete. However, despite the cessation of intensive inflow into the aquifer of infiltration and block waters, a significant decrease in the pH and volumetric activities of radionuclides other than tritium in groundwater under “Arch” is not happening yet. Concentrations of tritium in groundwater decreased from 900–1,100 to 30–50 Bq/liter. A change in the direction of movement of groundwater from north to north-east led to the formation of new pathways for the distribution of radionuclides with groundwater. So, in the S-10 well, located northeast of the SO, an increase in the concentration of tritium from 3–5 to 30 Bq/l is observed. Outside the “Arch”, by separate observation wells, the mineralization and ion concentration increase is 1.4–5 times, possibly due to the contact of the concrete of the pile foundation of the “Arch” with underground waters. The tritium concentrations in the block waters that associated with the facilities, located under reactor increased of 3 to 5 times. An increase in tritium concentrations may be associated with an increase in the density of neutron fluxes in rooms under reactor after the “Arch”

was drawn. Increased mineralization leads to an increase in the solubility of block water, which in turn can lead to an additional transfer of radionuclides from the active precipitate into the water of the precipitating clusters. Increasing the volume activities of radionuclides by evaporation and increasing the solubility of block water can lead to the formation of radioactively contaminated water masses, which at the concentration levels of radionuclides will refer to highly active liquid radioactive waste.

Keywords: “Arch” influence, industrial site of Chernobyl NPP, underground and block waters, radionuclides, basic ions, pH, migration, pile foundation.

References

1. Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants (2017). *Radiohydroecological monitoring in the area of the Shelter object. Stage 2. Conducting a radiohydroecological monitoring for the second stage of 2017*. Final research report. Contract no. 373/16 of 06.04.2017. Chernobyl, ISP NPP, 200 p. (in Russ.)
2. Panasiuk M. I., Lytvyn I. A. (2017). [Patterns of uranium distribution in the groundwater of the ChNPP site]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka* [Nuclear Physics and Energy], vol. 18, no. 1, pp. 56–62. (in Ukr.)
3. Matrosov D., Shevchenko A., Nosovskyi A., Panasiuk M. (2018). Data analysis of radiation and hydroecological monitoring of ground waters located at the industrial site of Chernobyl NPP. Proceedings of the *XII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”* (Kyiv, November 13–16, 2018). Doi: 10.3997/2214–4609.201803172.
4. Panasiuk M. I., Lytvyn I. A., Liushnya E. P., Alforyoff A. M., Levin G. V., Shestopalov V. M. (2015). Soils and Ground Water’s Radioactive Contamination into the Local Zone of the “Shelter” Object and Industrial Site of Chernobyl NPP. Proceedings of the *7th International Conference on Uranium Mining and Hydrogeology “Uranium — Past and Future Challenges”* (Freiberg, Germany, September, 2014), pp. 657–664.
5. Korneev A. A., Krinitsyn A. P., Strikhar’ O. L., Shcherbin V. N. (2002). [Liquid radioactive waste inside the Shelter object]. *Radiokhimiya* [Radiochemistry], vol. 44, no. 6, pp. 545–552. (in Russ.)
6. Vysotskii E. D., Godun R. L., Doroshenko A. A. (2018). Dynamics of neutron activity and sub-specificity of a nuclear-dangerous cluster under the conditions of the “NSC — Shelter object” complex. *Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsiy i Chernobylya* [Problems of Nuclear Power Plants’ Safety and of Chernobyl], vol. 30, pp. 78–86. (in Russ.)

Надійшла 17.07.2019

Received 17.07.2019