

М. І. Панасюк, О. І. Стоянов, П. А. Люшня, Г. В. Левін, Л. А. Паламар, 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*

РЕЗУЛЬТАТИ РАДІОГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В РАЙОНІ КОМПЛЕКСУ НБК-ОУ ТА ЗАСОБИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Концентрації ^{90}Sr у пробах підземних вод спостерігаються в широких межах значень від 1 - 2 до 400 - 3800 Бк/л. Виявлено два механізми формування високої міграційної здатності ^{90}Sr в підземних водах. Перший пов'язаний із впливом іонів кальцію на сорбційні властивості ^{90}Sr ґрунтами. Другий механізм формується в умовах сильнолужного середовища з рН більше 9,5. Суттєвим джерелом забруднення підземних вод є процес зосередженої інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти зони аерації у водоносний горизонт. Одним із заходів, який може привести до значного зменшення радіоактивного забруднення підземних вод, є регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів.

Ключові слова: проммайданчик ЧАЕС, підземні води, десорбція ^{90}Sr іонами Ca^{2+} та OH^- , сильнолужне середовище, рН > 9,5, регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів.

Вступ

За даними радіогідроекологічного моніторингу концентрація ^{90}Sr у пробах підземних вод із спостережних свердловин, що розташовані біля комплексу НБК-ОУ, досягають 700 - 2100 Бк/л [1]. Проблема високих концентрацій радіонуклідів полягає в тому, що радіоактивно забруднені підземні води розвантажуються в р. Прип'ять та в залишкові озера водоймища-охолоджувача, тим самим додаючи свою частку в забруднення поверхневих вод – джерел питного водопостачання населення України.

Умови формування високих концентрацій радіонуклідів у підземних водах пов'язані з двома факторами:

надходженням у водоносний горизонт радіоактивно забруднених водних мас;

формуванням у підземних водах умов, що забезпечують зниження сорбційних властивостей ґрунтів, при цьому, як наслідок, відбувається підвищення міграційної спроможності радіонуклідів у доквіллі.

Нашими дослідженнями виявлено два механізми формування високої міграційної здатності ^{90}Sr в підземних водах. Перший із них пов'язаний із формуванням значних концентрацій іонів кальцію. Цей механізм відомий із літературних джерел [2], але як це відбувається в польових умовах, наведено у цій статті. Другий механізм підвищення міграційної здатності радіонуклідів пов'язаний із формуванням у підземних водах сильнолужного середовища з рН більше 9,5 [3 - 5]. Однак у роботі [2], навпаки, стверджується, що ступінь сорбції ^{90}Sr ґрунтами з лужного середовища досягає 60 - 100 %. Отже, питання потребує подальших уточнюючих досліджень.

Після встановлення «Арки» у проектне положення і, як наслідок, припинення потрапляння високоактивних водних скупчень з об'єкта «Укриття» в доквіллі основним джерелом надходження радіонуклідів у підземні води став процес інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти зони аерації в підземні води, а також втрати води із водонесучих комунікацій. Одним із заходів, який може привести до суттєвого зменшення радіоактивного забруднення підземних вод, є регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів.

Таким чином, мета даної роботи полягала в подальшому вивченні механізмів формування високої міграційної здатності радіонуклідів із підземними водами та визначенні шляхів прийняття управлінських рішень по зменшенню розповсюдження радіоактивних матеріалів у доквіллі.

Матеріали та методи

Радіогідроекологічний моніторинг включає:

- 1) спостереження за рівневим режимом підземних вод, а значить, за напрямком та швидкістю їхнього руху;
- 2) контроль хімічного забруднення;

© М. І. Панасюк, О. І. Стоянов, П. А. Люшня,
Г. В. Левін, Л. А. Паламар, І. П. Онищенко, 2019

- 3) контроль радіоактивного забруднення, умов надходження та міграції радіонуклідів із підземними водами;
- 4) прогнози зміни радіаційних умов за допомогою математичних моделей радіогідроекологічних умов;
- 5) наукове обґрунтування змін системи спостережень з урахуванням змін радіогідроекологічних умов території.

У регламенті радіогідроекологічного моніторингу знаходиться більш ніж 50 спостережних свердловин. Зараз частина їх опинилася під «Аркою», яка встановлена у проектне положення в листопаді 2016 р.

Технічні характеристики спостережних свердловин і методологія проведення моніторингових досліджень наводяться в [3].

Результати та пропозиції

За даними моніторингових досліджень у пробах підземних вод із спостережних свердловин просторові розподіли максимальних концентрацій іонів кальцію (85 - 120 мг/л) майже повністю збігаються з розподілом максимальних значень концентрацій ^{90}Sr (520 - 1100 Бк/л). Підвищення концентрацій ^{90}Sr призводить до зростання вмісту іонів кальцію (рис. 1). І навпаки, зниження вмісту іонів кальцію призводить до зменшення об'ємної активності ^{90}Sr у пробах води (рис. 2).

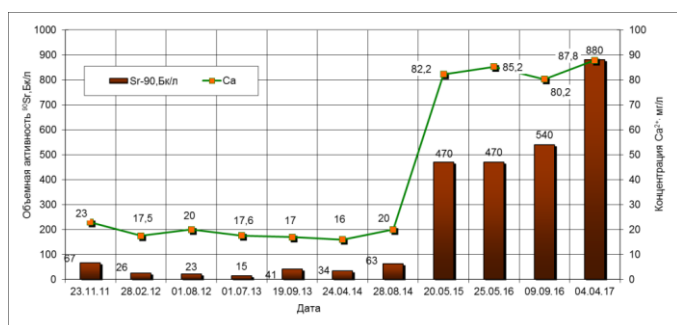


Рис. 1. Динаміка збільшення концентрацій Ca²⁺ та ^{90}Sr по свердловині 21-1А.

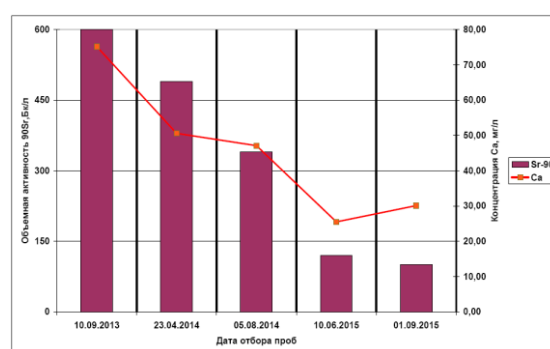


Рис. 2. Динаміка зменшення концентрацій Ca²⁺ та ^{90}Sr по свердловині 13-2А.

Як видно з наведених рисунків, при концентрації Ca²⁺ більш ніж 20 мг/л міграційна здатність ^{90}Sr зростає в 6 - 10 разів. І навпаки, зниження вмісту іонів кальцію до 20 - 30 мг/л приводить до зменшення об'ємної активності ^{90}Sr по окремих свердловинах у 3 - 4 рази.

Як відомо, іони кальцію найбільш сильно зменшують поглинання радіостронцію твердою фазою ґрунту і, отже, сприяють зростанню об'ємних активностей ^{90}Sr у воді водоносного горизонту, у тому числі за рахунок підвищення ступеня десорбції раніше задепонованого ^{90}Sr з поверхні частинок скелета ґрунту.

Довгі за часом ряди спостережень за концентрацією ^{90}Sr , хімічним складом і величиною рН підземних вод дали змогу виявити такі закономірності [3 - 5]:

при рН у межах 7,5 – 8,5 (період спостережень I) об'ємні активності ^{90}Sr становлять в основному десятки Бк/л (рис. 3);

при рН у межах 8,5 – 9,5 (період спостережень II) об'ємні активності ^{90}Sr знижуються до одиниць Бк/л за рахунок утворення слабозрочинних сполук стронцію з карбонатами (SrCO₃);

при рН > 9,5 (період III) об'ємні активності ^{90}Sr зростають у 200 - 500 разів до значень 500 - 700 Бк/л.

Високі значення рН формуються безпосередньо при контакті ґрунтових вод із бетоном фундаментів споруд чи надходженням у водоносний горизонт водних мас, що контактували з бетоном, у тому числі після аварійної заливки. При цьому процес формування сильнолужного середовища і високих об'ємних активностей ^{90}Sr (період спостережень III) мають певну інерцію. Спостережна свердловина 1-2А з листопада 2016 р. знаходиться під «Аркою». Таким чином, ліквідовано процес інтенсивного надходження у водоносний горизонт інфільтраційних та блокових вод. Але суттєвого зменшення об'ємних активностей ^{90}Sr не відбувається (див. рис. 3).

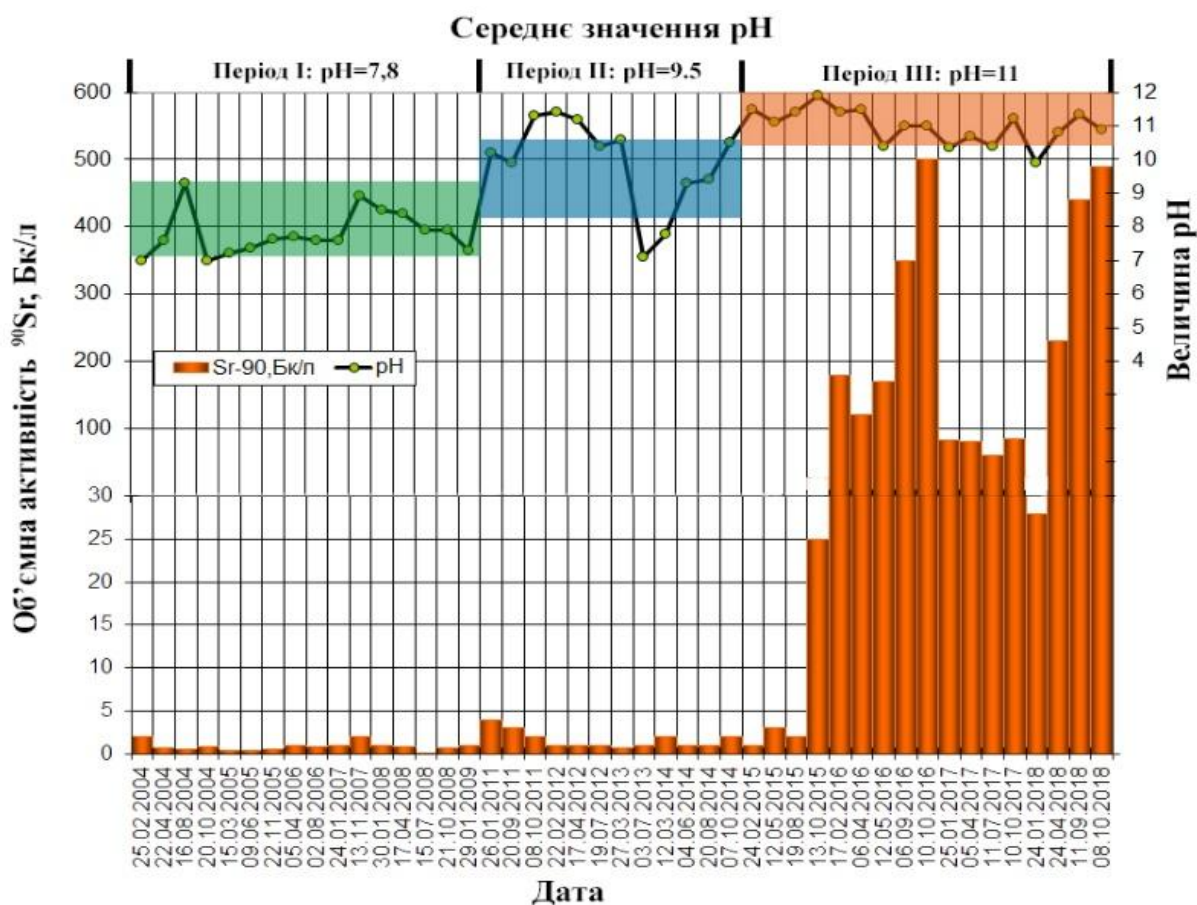


Рис. 3. Динаміка об'ємних активностей ⁹⁰Sr та рН по свердловині 1-2А.

Як було зазначено в [5]: «концентрація стронцію при «переході» з періоду II в період III у вигляді SrOH⁺ збільшується в 57 разів. Можливо, основним чинником процесу десорбції, а значить і запобігання сорбції радіостронцію ґрунтами в період спостережень III, є висока концентрація в розчині гідроксиду ОН⁻. Вірогідно, підвищена міграційна здатність радіостронцію відбувається у вигляді комплексної сполуки SrOH⁺».

Коефіцієнти кореляції між масивами даних об'ємної активності ⁹⁰Sr та аніонами і катіонами по свердловині 1-2А не мають високих значень і коливаються в межах від -0,16 до +0,46. Для окислюваності, яка є непрямим показником вмісту у воді органічних речовин, це співвідношення дорівнює -0,05. Відсутність зв'язку між концентраціями ⁹⁰Sr та вмістом органічних речовин демонструється й на рис. 4.

По інших спостережних свердловинах зростання об'ємних активностей ⁹⁰Sr в періоді спостережень III досягало значень 2100 Бк/л (свердловина 1-1А).

Таким чином, постає питання вирішення проблем, що пов'язані з розповсюдженням радіоактивного забруднення з підземними водами в довкіллі.

Одним із заходів, що може зменшити радіоактивне забруднення підземних вод, є регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів. На окремих ділянках поверхні промайданчика ЧАЕС склалися сприятливі умови для зосередженої інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти зони аерації в підземні води. Об'ємні активності ⁹⁰Sr у пробах підземних вод із свердловин, що розташовані в зоні впливу таких ділянок, досягають 1200 – 3800 Бк/л.

Зменшити радіоактивне забруднення на ділянках зосередженої інфільтрації атмосферних опадів (місця розташування свердловин С-24, С-23А, 21-1А, 3-Г, 30-1А, С-4А, 21-1А, 21-2А) можливо за рахунок улаштування зливових каналізаційних колекторів. Відведення атмосферних опадів із колекторів можна здійснювати в підвідний і відвідний канали. Таким чином, будуть виключені зосереджена інфільтрація атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти і привнесення радіонуклідів у водоносний горизонт.

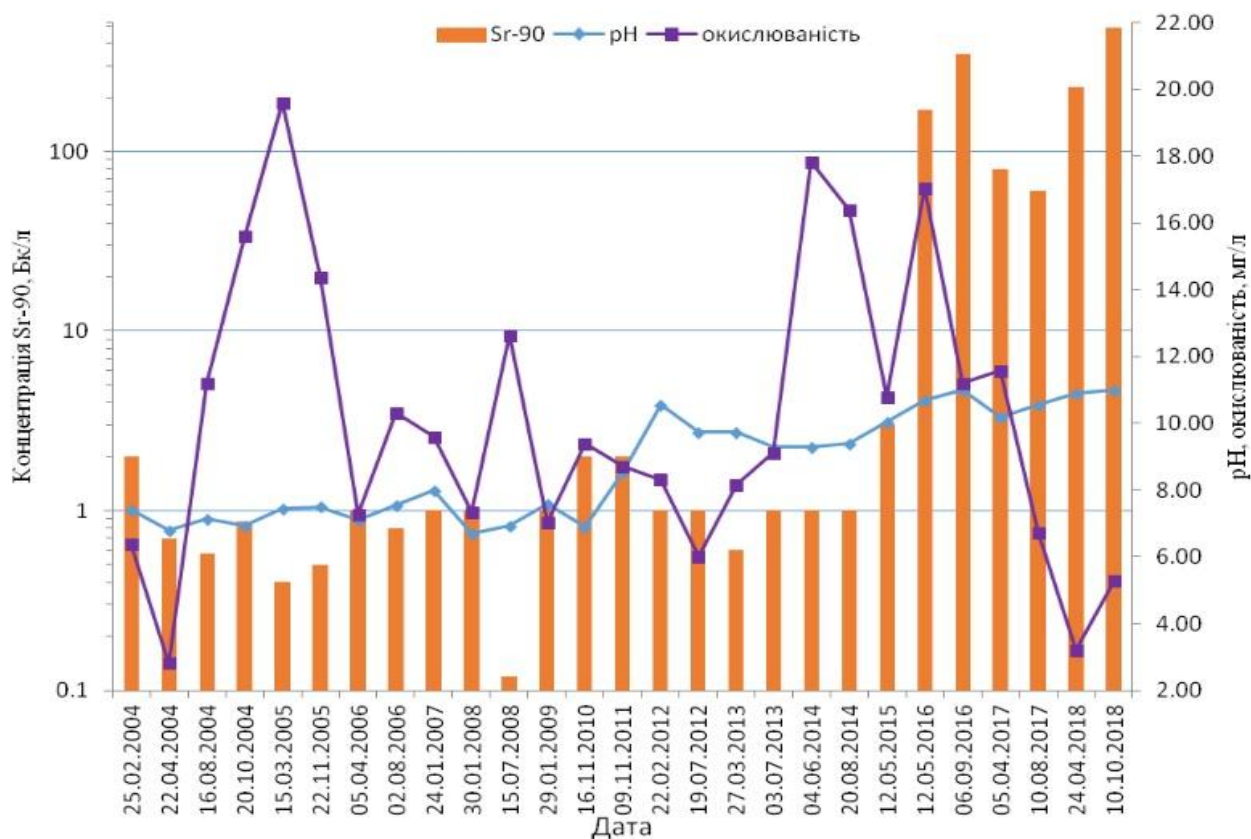


Рис. 4. Динаміка окислюваності, об'ємних активностей ^{90}Sr та pH по свердловині 1-2А.

Так, наприклад, у районі розташування свердловини С-24 поверхня майданчика розмірами орієнтовно 100×100 м заасфальтована і має слабкий ухил на південь та південний захід. У цьому ж напрямку стікають атмосферні опади і втрати води з комунікацій, створюючи передумови для зосередженої інтенсивної інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти об'ємом 5 – 6 тис. м^3 на рік. Аналогічна ситуація складається й біля свердловин С-23А, Б. Улаштування зливових каналізаційних колекторів (рис. 5) дозволить значно зменшити рівні радіоактивного забруднення підземних вод, що є важливим заходом, якщо брати до уваги факти перевищення технологічних радіаційних критеріїв (ТРК) по спостережних свердловинах С-24 і С-23А.



Рис. 5. Схема розташування зливових каналізаційних колекторів, які пропонуються (суцільні лінії).

Висновки

1. Високі концентрації ^{90}Sr та інших радіонуклідів біля комплексу НБК-ОУ є проблемою, що пов'язана з розповсюдженням радіоактивного забруднення з підземними водами в доквіллі та розвантаженням їх у поверхневі води р. Прип'ять, яка відноситься до басейну р. Дніпро і є джерелом питної води населення України.

2. Зменшити радіоактивне забруднення на ділянках зосередженої інфільтрації атмосферних опадів (місця розташування свердловин С-24, С-23А, 21-1А, 3-Г, 30-1А, С-4А, 21-1А, 21-2А) можливо за рахунок улаштування зливових каналізаційних колекторів. Таким чином, буде ліквідоване або суттєво зменшене радіоактивне забруднення доквілля в частині підземної та поверхневої гідросфери.

Автори висловлюють глибоку подяку В. Є-І. Хану та О. О. Одінцову за організацію та виконання лабораторних визначень вмісту радіонуклідів у пробах води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Радиогидроэкологический мониторинг в районе объекта «Укрытие». Этап 2. Проведение радиогидроэкологического мониторинга по второму этапу 2017 г. : (Отчет о НИР, заключит. ; дог. № 373/16 от 06. 04. 17) / Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины. – Руководитель Н. И. Панасюк. – № ГР 0117U002964. – Чернобыль, 2017. – 200 с.*
2. *Белицкий А. С. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений / А. С. Белицкий, Е. И. Орлова. – М. : Медицина, 1968.*
3. *Панасюк М. І. Закономірності розподілу урану в підземних водах проммайданчика ЧАЕС / М. І. Панасюк, І. А. Литвин // Ядерна фізика та енергетика. – 2017. – С. 56 – 62.*
4. *Рівні радіоактивного забруднення підземних вод проммайданчика ЧАЕС та засоби обмеження його розповсюдження / М. І. Панасюк, Д. Т. Матросов, 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.*
5. *Можливість використання термодинамічного моделювання формування високих концентрацій ^{90}Sr в сильнолужних підземних водах / М. І. Панасюк, Д. Т. Матросов, О. І. Стоянов, Г. В. Левін // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2018. – Вип. 31. – С. 120 – 126.*

Н. И. Панасюк, А. И. Стоянов, П. А. Люшня, Г. В. Левин, Л. А. Паламар, И. 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, 55б, Киев, 01054, Украина*

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНЕ КОМПЛЕКСА НБК-ОУ И СРЕДСТВА УМЕНЬШЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Концентрации ^{90}Sr в пробах подземных вод наблюдаются в широких пределах значений от уровней питьевой воды 1 - 2 Бк/л до высоких концентраций 400 - 3800 Бк/л и выше. Выявлены два механизма формирования высокой миграционной способности ^{90}Sr в подземных водах. Первый связан с влиянием ионов кальция на сорбционные свойства ^{90}Sr грунтами. Второй механизм формируется в условиях сильнощелочной среды с pH более 9,5. Существенным источником загрязнения подземных вод является процесс сосредоточенной инфильтрации атмосферных осадков через радиоактивно загрязненные грунты зоны аэрации в водоносный горизонт. Одним из мероприятий, которое может привести к уменьшению радиоактивного загрязнения подземных вод, является регулирование поверхностного стока атмосферных осадков.

Ключевые слова: промплощадка ЧАЭС, радиоактивное загрязнение подземных вод, повышенная миграция ^{90}Sr , десорбция ^{90}Sr ионами Ca^{2+} и OH^- , сильнощелочная среда, pH > 9,5, регулирование поверхностного стока атмосферных осадков.

М. І. Panasiuk, О. І. Stoyanov, P. A. Lyushnia, G. V. Levin, L. A. Palamar, I. P. Onyshchenko*

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine
* Radio-Environmental Center NAS of Ukraine, O. Gonchara str., 55b, Kyiv, 01054, Ukraine*

RESULT TO RADIO MONITORING IN THE AREA OF THE NSC-OS COMPLEX AND THE REPLACEMENT OF THE LATE-SPRING WATERS

Concentrations of ^{90}Sr in samples of the late-earth waters are scattered, in wide ranges between 1 and 2 of 1 – 2 Bq/l to a high concentration of 400 – 3,800 Bq/l i vishche. There are two mechanisms for shaping the high-altitude ^{90}Sr in the continental waters. He is the first to compete with the use of a coalition on sorbtsiyy power ^{90}Sr soils. The

other mechanism is formed in the minds of the strong-middle agent with a pH of more than 9.5. Suttevim dzhereloom zabrudnennya pdzemnyh waters є process of the intermediate of atmospheric pollutants through radioactively zabrudnen i runti zoni aeratsii in pidzemni vod. One iz zakhodiv, yaky mozhe to produce before the replacement of the radioactively active obsteer of the midland waters, the regulation of the surface drain of the atmospheric waste.

Keywords: prommaydanchik ChNPP, radioactively not overlapping the southern waters, the migration of ^{90}Sr , U and TUE, desorption of ^{90}Sr , ions of Ca^{2+} and OH^- strong, medium, pH > 9.5, regulating above-dostover.

REFERENCES

1. *Report on the research work «Radiohydroecological monitoring in the area of the «Shelter» object. Stage 2. Conducting of radiohydroecological monitoring in the second stage of 2017» (final, contract number 373/16 from 06.04.2007.).* – Head N. I. Panasyuk ; № GR 0117U002964. – Chernobyl, 2017. – 200 p. (Rus)
2. *Belitskiy A. S.* The protection of ground waters from radioactive contamination / A. S. Belitskiy, E. I Orlova. – Moskwa : Meditsina, 1968. (Rus)
3. *Panasyuk M. I.* Laws of distribution of uranium in groundwater of ChNPP industrial site / M. I. Panasyuk, I. A. Lytvyn // *Jaderna fizyka ta energetyka.* – 2017. – Vol. 18, № 1. – С. 56 – 62. (Ukr)
4. *Levels of radioactive pollution of lower waters of the Chornobyl nuclear power plant and means of limitation of its distribution* / M. I. Panasyuk et al. // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly).* – 2018. – Iss. 30. – P. 87 – 92. (Ukr)
5. *Possibility of using thermodynamic modeling of formation of high concentrations of ^{90}sr in highly alkaline underground waters* / M. I. Panasyuk, D. T. Matrosov, O. I. Stoyanov, G. V. Levin // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly).* – 2018. – Iss. 31. – P. 120 – 126. (Ukr)

Надійшла 23.01.2019

Received 23.01.2019