

УДК 614.73 (035.3)

doi: 10.20998/2220-4784.2018.40.10

**Л. Н. СОЛОДОВНИКОВА, В. А. ТАРАСОВ, В. Н. ШАБАТИН****СНИЖЕНИЕ РАДОНООПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

В работе описана методика определения значений объемной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ радиоактивных отходов с учетом особенностей их закрытого и открытого типа. В методике учитывается тот факт, что для оценки радоноопасности хранилищ закрытого типа используются значения объемной активности радона в атмосферном воздухе. Для хранилищ открытого типа точное определение значений объемной активности радона-222 в атмосферном воздухе затруднено из-за необходимости учёта влияния множества метеорологических факторов и оценка радоноопасности хранилища определяется значениями плотности потока радона-222 с его поверхности (экскаляцией). В работе предложены технические мероприятия, которые повысят экологическую безопасность этих хранилищ.

**Ключевые слова:** радоноопасность, объёмная активность радона-222, хранилища радиоактивных отходов.

**Л. Н. СОЛОДОВНИКОВА, В. А. ТАРАСОВ, В. Н. ШАБАТИН****СНИЖЕНИЕ РАДОНООПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

У роботі описана методика визначення значень об'ємної активності радону-222 в атмосферному повітрі сховищ радіоактивних відходів з урахуванням особливостей їх закритого і відкритого типу. У методиці враховується той факт, що для оцінки радононебезпеки сховищ закритого типу використовуються значення об'ємної активності радону в атмосферному повітрі. Для сховищ відкритого типу точне визначення значень об'ємної активності радону-222 в атмосферному повітрі утруднено через необхідність врахування впливу безлічі метеорологічних факторів і оцінка радононебезпеки сховища визначається значеннями щільності потоку радону-222 з його поверхні (екскаляції). В роботі запропоновані технічні заходи, які підвищать екологічну безпеку цих сховищ.

**Ключові слова:** радононебезпека, об'ємна активність радону-222, сховища радіоактивних відходів.

**L. N. SOLODOVNIKOVA, V. A. TARASOV, V. N. SHABATIN****REDUCTION OF RADON SAFETY STORAGE THE RADIOACTIVE WASTES**

The paper describes a method for determining the values of the radon-222 volumetric activity in the atmospheric air of radioactive waste storage facilities, taking into account the characteristics of their closed and open type. The method takes into account the fact that for the assessment of the radon danger of closed-type storage facilities, direct measurements of the radon activity volumetric activity using radonometers are used. Accurate determination of the values of the volumetric activity of radon-222 in open air storages is difficult because of the need to take into account the influence of many meteorological factors. Using special mathematical models, it is possible to predict changes in the volume concentration of radon with variations in the influencing factors. In any case, the primary source for such a forecast will be the values of the radon-222 flux density from its surface (exhalation), Bq/m<sup>2</sup>s. Therefore, in the approach to assessing the radon danger of open repositories, the definition of radon eschaklation from various sites comes to the first place. Naturally, more hazardous areas will be more dangerous. In the present work, the radon hazard of the objects under study was estimated by the values of the radon activity volume in the atmospheric air of the closed type storages and by the radon flux density (eschaklation) from the surface of the open type tailing dump. The work proposed technical measures that will improve the environmental safety of these repositories.

**Key words:** radon hazard, radon-222 volumetric activity, tailing dump of radioactive waste.

**Введение.** Образование хранилищ радиоактивных отходов в Украине обусловлено использованием радиоактивных материалов во многих отраслях народного хозяйства. Практически все хранилища радиоактивных отходов с существующими способами их хранения представляют потенциальную радиоэкологическую опасность для окружающей среды, так как содержат отработанные источники урана-238 и радия-226, которые выделяют в атмосферу радиоактивный газ радон-222. Усиливает радоноопасность этих хранилищ тот фактор, что значительная часть территории Украины расположена на кристаллическом щите с большими запасами природных радионуклидов уранового и ториевого рядов, что также способствует интенсивным эманациям радона-222 в атмосферный воздух окружающей среды. Расположение хранилищ радиоактивных отходов вблизи населённых пунктов определяет необходимость оценки содержания радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ [1] и снижения их радоноопасности путём проведения необходимых технических мероприятий.

**Цель работы.** Целью настоящей работы являлась отработка подходов для оценки радоноопасности хранилищ радиоактивных отходов закрытого и открытого типа. Основными объектами

были: Харьковский ГМСК УкрГО «Радон», хранилище твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров» (Киевская область) и хвостохранилище Сухачёвское II секция бывшего ПО «Приднепровский химический завод». Предполагалось разработать методику оценки радоноопасности хранилищ твёрдых радиоактивных отходов, провести оценку радоноопасности хранилищ на основе полученных по методике экспериментальных данных и предложить мероприятия для снижения концентрации радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ.

**Постановка проблемы.** Практически все хранилища являются радоноопасными объектами [2]. Основным источником радона (<sup>222</sup>Rn) является радий (<sup>226</sup>Ra) – продукт цепочки распадов <sup>238</sup>U [3]. Это видно из схемы его распада (рис. 1 а, б).

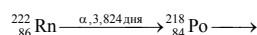
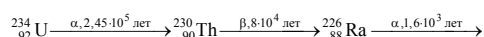
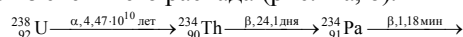


Рис. 1 – Схема распада природного урана-238 (а).

© Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А., Шабатин В.Н., 2018

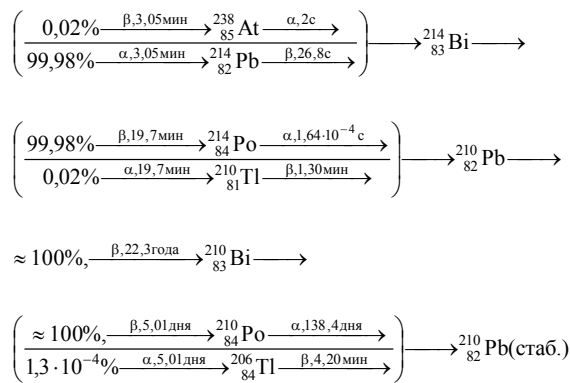


Рис. 1 – Схема распада природного урана-238 (б).

Хранилища радиоактивных отходов обычно разделяют на хранилища закрытого и открытого типа. Из исследованных объектов к хранилищам закрытого типа относится Харьковский ГМСК УкрГГО «Радон». В это хранилище попадают твёрдые и жидкие радиоактивные отходы из организаций, не относящихся к предприятиям ядерно-топливного цикла. Источником радона служит грунт и некоторые препараты урана-радия, находящиеся в хранилище. Задачей является снижение содержания радона-222 в атмосферном воздухе хранилища для уменьшения

дозовой нагрузки на персонал категории А. К исследованным в работе хранилищам радиоактивных отходов закрытого типа относится также объект «Макаров», принадлежавшего министерству обороны бывшего СССР и Украины, который имеет хранилище твёрдых радиоактивных отходов. Снижение радоноопасности этого объекта улучшит радиозоологическую обстановку прилегающих к нему территорий.

Образование хранилищ радиоактивных отходов открытого типа связано с добычей и переработкой уранового сырья. В результате накапливаются большие количества отходов в виде отвалов сопутствующих и сбалансированных руд, а также технологических пульп в хвостохранилищах. К хранилищам радиоактивных отходов открытого типа относятся хранилища уранового производства бывшего Производственного объединения «Приднепровский химический завод», который эксплуатировался с 1949 по 1991 г. и расположен недалеко от г. Днепродзержинска. За время его работы образовались хранилища: «Западное», «Центральный Яр», «Юго-восточное», «Днепровское», «Сухачёвское»: I – секция, II – секция, «База С», «Лантановая фракция», «Доменная печь №6» [4] (рис. 2).

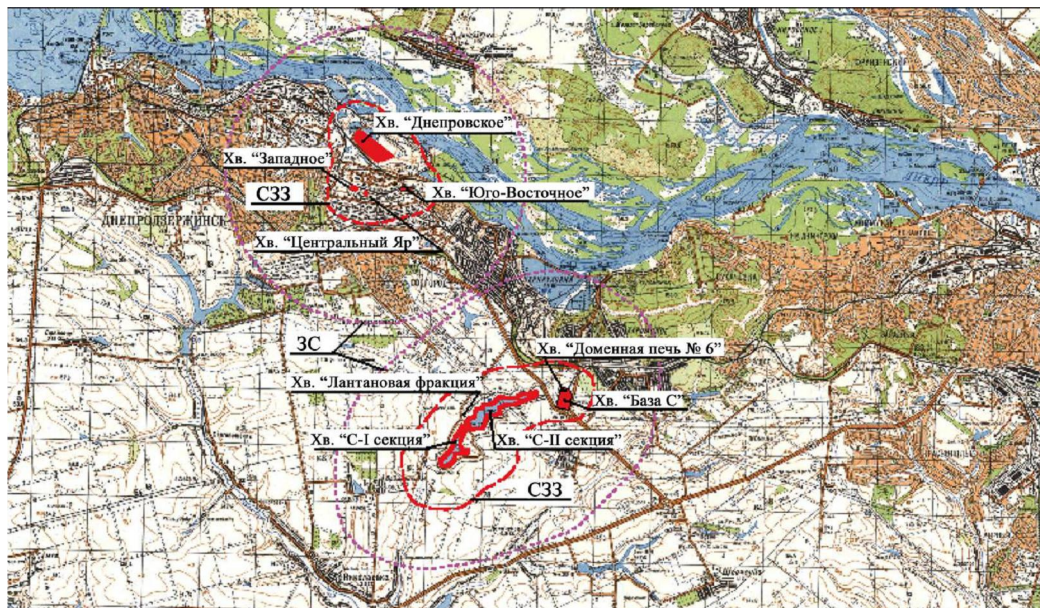


Рис. 2 – Размещение объектов бывшего ПО «ПХЗ» и мест удаления отходов уранового производства в г. Днепродзержинск [5].

По предварительным оценкам годовое поступление радона-222 в приземный слой атмосферы только из Сухачёвского хвостохранилища бывшего Производственного объединения «Приднепровского химического завода» составляет [4]: I – секция –  $2,2 \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup>; II – секция –  $2,16 \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup>. Секция I «хвостохранилища» (площадь 70 га, отходов – 5,6 млн. тонн), эксплуатировалась с 1968 г. по 1983 г. Секция II «хвостохранилища» (площадь 90 га, отходов – 19 млн. т), эксплуатировалась с 1983 г. по 1992 г. и

предназначалась для складирования отходов переработки уранового сырья [6].

Промплощадка бывшего Производственного объединения «Приднепровского химического завода» находится в непосредственной близости к жилой зоне г. Днепродзержинска Днепропетровская область. Хвостохранилища являются источником загрязнения на расстоянии 370 – 860 метров от их контура [6] за счет различных процессов переноса радионуклидов. Снижение радоноопасности II секции «Сухачёвского» хвостохранилища связано с

необходимостью её реконструкцией и перепрофилированием для дальнейшего использования свободного объёма чаши [7]. Частичная изоляция хвостохранилища от окружающей среды уменьшит воздушное распространение радона-222 в атмосферном воздухе на близлежащие территории, что значительно снизит дозовую нагрузку на персонал категории А промплощадки бывшего ПО «Приднепровский химический завод» и населения проживающего на прилегающих к хвостохранилищу территориях.

Следует отметить, что подходы для оценки радоноопасности закрытых и открытых хранилищ радиоактивных отходов отличаются. Для хранилищ закрытого типа предполагается равновесная или медленно изменяющаяся концентрация радона в воздухе. В этом случае возможны прямые измерения объёмной активности радона с помощью радонометров. Точное определение значений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ открытого типа затруднено из-за необходимости учёта влияния множества метеорологических факторов. С использованием специальных математических моделей возможно прогнозирование изменения объёмной концентрации радона при вариации влияющих факторов. В любом случае первоисточником для такого прогноза будут значения плотности потока радона-222 с его поверхности (эсхалляция), Бк/м<sup>2</sup>·с. Поэтому в подходе к оценке радоноопасности открытых хранилищ на первое место выходит определение эсхалляции радона с различных участков. Естественно, более опасными будут участки с высокой эсхалляцией. В настоящей работе радоноопасность исследуемых объектов оценивалась по значениям объёмной активности радона в атмосферном воздухе хранилищ закрытого типа и по плотности потока радона (эсхалляции) с поверхности хвостохранилища открытого типа.

**Результаты исследований.** В результате проведенных исследований была разработана методика оценки радоноопасности хранилищ

радиоактивных отходов открытого и закрытого типов. Методика оценки радоноопасности хранилищ состоит из: 1) калибровки средств измерительной техники, измеряющих величину объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ закрытого типа, на Государственном первичном эталоне единицы объёмной активности радона-222 (ДЕТУ12-01-97) [8] с использованием государственной поверочной схемы (ДСТУ 3536-97) [9]; 2) калибровки средств измерительной техники, измеряющих величину плотности потока радона-222 для хранилищ открытого типа, на Государственном первичном эталоне единицы объёмной активности радона-222 (ДЕТУ12-01-97) с использованием государственной поверочной схемы (ДСТУ 3536-97) [9]; 3) непосредственных измерений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ закрытого типа твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК Укр ГО «Радон» и хранилища твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров»; 4) непосредственных измерений плотности потока радона с поверхности хвостохранилища открытого типа Сухачёвское II секция бывшего ПО «Приднепровский химический завод»; 5) оценки результатов измерений на предмет радоноопасности исследуемых объектов.

Измерения объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилища твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК Укр ГО «Радон», хранилища твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров», и хвостохранилища Сухачёвское секция II бывшего ПО «Приднепровский химический завод» проводились следующими радон-мониторами: Alpha GUARD PQ 2000 с диапазоном измерения объёмной активности радона-222 от 2 до 2·10<sup>6</sup> Бк/м<sup>3</sup>, ATMOS-12D с диапазоном измерения объёмной активности радона-222 от 1 до 1·10<sup>5</sup> Бк/м<sup>3</sup>, радон-монитор РГА-09 диапазон измерения объёмной активности радона-222 от 50 до 1·10<sup>4</sup> Бк/м<sup>3</sup> (рис. 3), откалиброванных по Государственному первичному эталону радона-222 (ДЕТУ 12-01-97) с использованием государственной поверочной схемы (ДСТУ 3536-97).



Рис. 3 – Радон-мониторы для измерения объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ радиоактивных отходов.

Измерения объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилища твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК УкрГО

«Радон» (рис. 4) проводились на уровне защитных плит подземных ёмкостей в их открытом и закрытом состоянии.

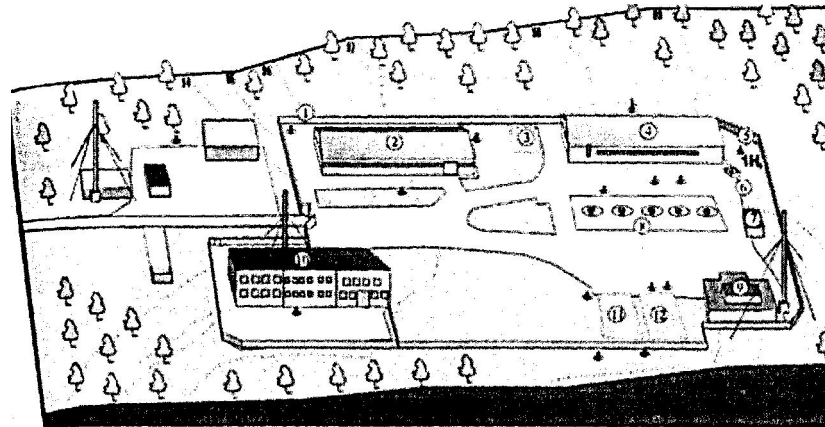


Рис. 4 – Схематический вид Харьковского ГМСК УкрГО «Радон»: 2 – хранилище твёрдых радиоактивных отходов.

Замеры радона-222 осуществлялись радон – монитором Alpha GUARD PQ 2000 и радон – монитором РГА–09, реализующий метод К. Маркова модификации М. Терентьева. Измерения радона в ячейке твёрдых радиоактивных отходов были выполнены на дне ячейки ( $Z = -4,0\text{м}$ ) в шести точках:

А (0,5; 2,0; -4,0); В (0,5; 6,0; -4,0); С (0,5; 10,0; -4,0); D (2,5; 2,0; -4,0); E (2,5; 6,0; -4,0); F (2,5; 10,0; -4,0) и на глубине 2м ( $Z = -2,0$ ) в следующих точках: А' (0,5; 2,0; -2,0); В' (0,5; 6,0; -2,0); С' (0,5; 10,0; -2,0); D' (2,5; 2,0; -2,0); E' (2,5; 6,0; -2,0); F' (2,5; 10,0; -2,0) и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений объёмной активности радона-222 в хранилище твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК УкрГО «Радон»

| А                     | В                     | С                     | Д                     | Е                     | F                     |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1250Бк/м <sup>3</sup> | 1200Бк/м <sup>3</sup> | 1250Бк/м <sup>3</sup> | 1243Бк/м <sup>3</sup> | 1200Бк/м <sup>3</sup> | 1247Бк/м <sup>3</sup> |
| А'                    | В'                    | С'                    | Д'                    | Е'                    | Ф'                    |
| 1000Бк/м <sup>3</sup> | 960Бк/м <sup>3</sup>  | 1000Бк/м <sup>3</sup> | 993Бк/м <sup>3</sup>  | 955Бк/м <sup>3</sup>  | 994Бк/м <sup>3</sup>  |

Анализ результатов измерений объёмной активности радона-222, приведенных в таблице 1 показал, что объёмная активность радона-222 в хранилище твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК в 10 раз превышает допустимые уровни (НРБУ-97 [10]). Измерения объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе объекта «Макаров» (рис. 5) осуществлялись как внутри хранилища твёрдых радиоактивных отходов, так и на прилегающей к нему территории.



Рис. 5 – Внешний вид хранилища твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров».

Измерения объёмной активности радона-222 внутри контейнера хранилища осуществлялись радон-монитором Alpha Guard PQ 2000. Внутри контейнера хранилища источники массы радия-226 выделяют радон-222 с объёмной активностью в верхней части хранилища  $1,2 \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup> в объёме пустот хранилища 3 м<sup>3</sup>. Измерения объёмной активности радона-222 на территории, прилегающей к хранилищу твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров» осуществлялись радон - мониторами Alpha Guard PQ 2000 и Atmos 12D, и были выполнены в приземном слое атмосферы в полярной системе координат.

Результаты измерений объёмной активности радона-222 в приземном слое атмосферы при радиусах 10м, 100м, 200м и 300м с центром в ядре хранилища твёрдых радиоактивных отходов приведены в таблице 2. Анализ результатов измерений объёмной активности радона-222, приведенных в таблице 2 показал, что объёмная активность радона-222 в хранилище твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров» в 100 раз превышает допустимые уровни (НРБУ-97 [10]). Распространение радиоактивного газа радона в атмосферном воздухе хранилищ радиоактивных

отходов открытого типа происходит следующим образом (рис. 6).

Таблица 2 – Результаты измерений объемной активности радона-222 в приземном слое атмосферы объекта «Макаров».

| Объёмная активность радона-222, Бк/м <sup>3</sup> |                    |                      |                      |                      |                      |                      |
|---|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| R, м \ φ  | 0°                 | 60°                  | 120°                 | 180°                 | 240°                 | 300°                 |
| 10  | 56·10 <sup>3</sup> | 58,7·10 <sup>3</sup> | 58,8·10 <sup>3</sup> | 55,1·10 <sup>3</sup> | 53,2·10 <sup>3</sup> | 53,3·10 <sup>3</sup> |
| 100   | 600,0              | 650,8                | 666,0                | 590,7                | 570,3                | 570,5                |
| 200   | 143,1              | 157,5                | 157,3                | 140,9                | 130,7                | 130,9                |
| 300   | 66,6               | 72,3                 | 72,7                 | 66,0                 | 60,3                 | 60,8                 |

Выделившийся с поверхности хранилища образовавшийся радон путём диффузионно-конвективных процессов распространяется в приземном слое атмосферы и создаёт радоноопасную обстановку на территории окружающей «хвостохранилище» [2] (рис. 6).

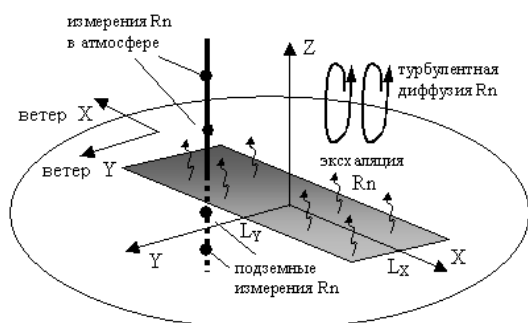


Рис. 6 – Распространение радона-222 в атмосферном воздухе хранилища радиоактивных отходов открытого типа.

Распространение радона-222 в атмосферном воздухе хранилища радиоактивных отходов открытого типа определяется пространственными вариациями метеорологических факторов, таких как направление и скорость ветра, скорость смешивания воздушных потоков в приземном слое атмосферы, влажностью и др.

Точное определение значений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе

хвостохранилища затруднено даже с использованием специальных математических моделей из-за необходимости учёта вариаций различных метеорологических факторов. В любом случае исходным фактором для прогноза содержания радона-222 в атмосферном воздухе хранилища радиоактивных отходов открытого типа является плотность потока радона-222 с его поверхности (эксхалиция), Бк/м<sup>2</sup>·с.

Измерение концентрации радона-222 в атмосферном воздухе территории II секции «хвостохранилища» проводилось с помощью радиометра РГА-09М (определение эквивалентной равновесной объёмной активности радона-222 (ЭРОА)) и радиометра AlphaGuard PQ-2000 (определение эксхалиции). Измерения ЭРОА радона-222 в воздухе проведены экспресс-методом с помощью радиометра РГА-09М. Замеры проводились на средней высоте органов дыхания взрослого человека (1,5 м). Эксхалиция радона-222 с поверхности определялась с помощью радиометра AlphaGuard PQ-2000 и пробоотборного устройства [2]. Из сравнения значений ЭРОА, приведенных в таблице 4 со значением этого параметра, указанного в НРБУ-97 [10] следует, что величина ЭРОА для всех точек измерений не превышает критических значений. В то же время для ряда точек измерений величины эксхалиции значительно превышают нормативные значения согласно критерию радоноопасности территорий (таблица 5) [2].

Таблица 4 – Превышения концентрации радона-222 вокруг территории хвостохранилища

| № п/п | Номер точки измерения | ЭРОА радона-222 в воздухе, Бк/м <sup>3</sup> | Эксхалиция радона-222 с поверхности, мБк·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> | Координаты точки замера |        |       |
|-------|-----------------------|--|---|-------------------------|--------|-------|
|       |                       |  |   | N48°                    | E034°  | H, см |
| 3     | S47                   |  | 373 ± 14  | 25,448                  | 43,057 | 132   |
| 9     | S82A                  | 5,23   | 162 ± 8   | 25,307                  | 43,171 | 122   |
| 10    | S85                   | 4,83   | 257 ± 9   | 25,363                  | 43,137 | 117   |
| 11    | S99                   | 4,8  | 181 ± 7   | 25,433                  | 43,073 | 128   |
| 16    | S170                  | 13,28  | 317 ± 12  | 25,239                  | 43,338 | 120   |

Таблица 5 – Критерии потенциальной радоноопасности территорий

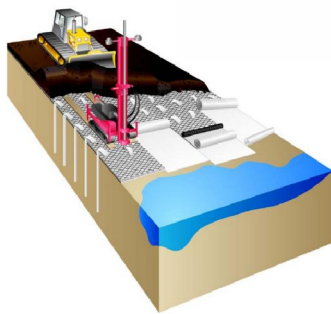
| Категории потенциальной радоноопасности территорий | ЭРОА радона, Бк·м <sup>-3</sup> | Плотность потока радона J, мБк·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> | ОА радона Срп, кБк·м <sup>-3</sup> |
|--|---------------------------------|---|------------------------------------|
| I  | < 25                            | < 20  | << 10                              |
| II   | 25 – 100                        | 20 – 80   | 10 – 40                            |
| III  | > 100                           | < 80  | > 40                               |

Анализ результатов измерений концентрации радона-222 (табл. 4) показал, что значения плотности потока радона в определённых точках территории вокруг хвостохранилища превышают 80 мБк/м<sup>2</sup>·с

(табл. 5). Радоноопасность Сухачёвского хвостохранилища секция II определяется по величине значений плотности потока радона-222 с его поверхности.

Таким образом, анализ измерений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилищ твёрдых радиоактивных отходов закрытого типа Харьковского ГМСК Укр ГО «Радон» и объекта «Макаров», и анализ измерений плотности потока радона-222 с поверхности Сухачёвского хвостохранилища секция II показал высокую радоноопасность данных объектов. Это является основанием для проведения мероприятий, которые снизят уровень значений объёмной активности радона-222 в воздухе хранилищ до значений, определённых в НРБУ-97 [10]. Для снижения уровня значений объёмной активности радона-222 в воздухе хранилища твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК необходима установка датчиков радона-222 типа Napewell с сигнализатором, которые обеспечивают автоматическое включение принудительной системы вентиляции воздуха при соответствующей реакции датчиков. Данную систему противорадовой защиты можно применить и к другим спецкомбинатам Укр ГО «Радон». Снижение уровня значений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилища твёрдых радиоактивных отходов объекта «Макаров» было достигнуто путём его обезвреживания от твёрдых радиоактивных отходов и вывоза их с территории

Украины согласно договору СНВ-1. Для уменьшения поступления радона в атмосферу с поверхности хвостохранилища Сухачёвское II секция бывшего ПО «Приднепровский химический завод» можно использовать промышленные отходы [7], а также возможно применение технологии рекультивации (ремедиации) изоляции хвостохранилищ радиоактивных отходов немецкой компанией «Wismut GmbH» [11]. Процедура рекультивации (ремедиации) хранилища радиоактивных отходов немецкой компанией «Wismut GmbH», покрытого водой, состоит в следующем (рис. 7а) [11]: 1) устранение прудной воды, покрывающей хвостохранилище; 2) размещение сеточного покрытия для высыхания хвостохранилища и придания ему устойчивой платформы; 3) устранение поровой воды в теле хвостохранилища с помощью скважин; 4) создание устойчивой поверхности хвостохранилища для дальнейшей его изоляции; 5) размещение промежуточных покрытий на основе мембранных технологий с целью изоляции радона-222; 6) укладка финального покрытия, обеспечивающего полную изоляцию от окружающей среды выделяющегося из хвостохранилища радона-222 и механическую стойкость для дальнейшей эксплуатации территории хвостохранилища или его реабилитации.



а) фрагменты технологии ремедиации хвостохранилища, покрытого водой.



в) современный вид территорий бывших отвалов обеднённых руд и хвостохранилища предприятия «Висмут»;



б) ландшафт территории реабилитации Konigstein (Германия).

Рис. 7 (а, б, в) Рекультивация хвостохранилищ радиоактивных отходов компанией «WISMUT GmbH».

### Выводы.

Разработаны подходы для оценки состояния хранилищ радиоактивных отходов открытого и закрытого типов относительно их радоноопасности по критериям НРБУ-97. Для хранилищ закрытого типа критерием радоноопасности нами выбрана

величина объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе, а для хранилищ радиоактивных отходов открытого типа объективным критерием радоноопасности – величина плотности потока радона с его поверхности.

Анализ значений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе хранилища твёрдых радиоактивных отходов Харьковского ГМСК показал его радоноопасность для персонала. Для снижения радоноопасности необходимо установление датчиков радона-222 типа Hanewell с сигнализатором, которые обеспечивают автоматическое включение принудительной системы вентиляции воздуха при соответствующей реакции датчиков. Также на основе измерений и анализа значений объёмной активности радона-222 в атмосферном воздухе показана радоноопасность объекта «Макаров». Для устранения

радоноопасности объекта «Макаров» предложено обезвреживание твёрдых радиоактивных отходов с вывозом их с территории Украины. Результаты измерений плотности потока радона-222 с поверхности территории вокруг Сухачёвского хвостохранилища секция II показали значительную радоноопасность его отдельных участков. Для снижения радоноопасности поток радона-222 необходимо уменьшить, используя современные технологии изоляции и рекультивации хвостохранилищ.

### Список литературы

1. Regulatory control of radioactive discharges to the environment iaea safety standards series No. GSG-9 International atomic energy agency Vienna, 2018
2. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Особенности оценки радоноопасности Сухачёвского хвостохранилища радиоактивных отходов Вісник НТУ «ХПІ» – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41 (1263), – с. 81–86.
3. Солодовникова Л.Н. Метрологическое обеспечение экологических мониторингов радона в Украине. Труды VIII Международной научно-технической конференции «Метрология и измерительная техника» (Метрология-2012) т. II / Л.Н. Солодовникова – Харьков: ННЦ «Институт метрологии». 2012, – с. 592–599.
4. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Радоноопасность техногенно-усиленных природных источников ионизирующего излучения. Третя міжнародна конференція «Хімічна і радіаційна безпека: проблеми і рішення». – Київ, 2015, – с. 42–43.
5. Лисиченко Г.В., Ковач В.Е. Мировой опыт реабилитации урановых производств. В кн.: Збірник наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». Вип. 6. Київ-Кременчук, 2013, – с. 4–12.
6. Дурасова Н.С., Коваленко Г.Д. Оценка радоноопасности ядерно-топливного цикла на примере хвосхоохранилищ Приднепровского химического завода. Научные ведомости, серия Естественные науки. 2015, № 3 (200). Выпуск 30, – с. 176–181.
7. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Эколого-химические проблемы и радоноопасность отходов при переработке уранового сырья в Украине. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2/11 (62). 2013, – с. 24–27.
8. ДТЕУ 12-01-97 «Державний первинний еталон одиниці об'ємної активності радону-222».
9. ДСТУ 3536-97. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об'ємної активності радону-222. Київ.: Держстандарт України. 1997, – 7 с.
10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.001-98 [Текст] : офіційне видання. – К.: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1998. – 135 с. – (Нормативний документ МОЗ України).
11. WISMUT experience in uranium tailings storage management. Dr. Peter Schmidt, Head Department of Env. Monitoring Radiation Wismut GmbH, Moscow, Oct.31- Nov.2, 2011.

### Bibliography (transliterated)

1. Regulatory control of radioactive discharges to the environment iaea safety standards series No. GSG-9 International atomic energy agency Vienna, 2018
2. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. Osobennosti ochenki radonooapasnosti Suhachjovskogo hvostohranilishha radioaktivnyh othodov Visnik NTU «KhPI» – Harkiv : NTU «KhPI», 2017. – № 41 (1263), – pp. 81–86.
3. Solodovnikova L.N. Metrologicheskoe obespechenie jekologicheskikh monitoringov radona v Ukraine. Trudy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Metrologija i izmeritel'naja tehnika» (Metrologija-2012) t. II / L.N. Solodovnikova – Har'kov: NNC «Institut metrologii». 2012, – pp. 592–599.
4. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. Radonooapasnost' tehnogennou-silennyh prirodnyh istochnikov ionizirujushhego izlucheniya. Tret'ja mizhnarodna konferencija «Himichna i radiacijna bezpeka: problemi i rishennja». – Kiïv, 2015, – pp. 42–43.
5. Lisichenko G.V., Kovach V.E. Mirovoj opit rehabilitacii uranovih proizvodstv. V kn.: Zbirnik naukovih prac' «Tehnogennoe-ekologichna bezpeka ta civil'nij zahist». Vip. 6. Kiïv-Kremenchuk, 2013, – pp. 4–12.
6. Durasova N.S., Kovalenko G.D. Ocenka radonooapasnosti jaderno-toplivnogo cikla na primere hvosohranilishh Pridneprovskogo himicheskogo zavoda. Nauchnye vedomosti, serija Estestvennye nauki. 2015, № 3 (200). Vypusk 30, – pp. 176–181.
7. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. Jekologo-himicheskie problemy i radonooapasnost' othodov pri pererabotke uranovogo syr'ja v Ukraine. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. 2/11 (62). 2013, – pp. 24–27.
8. DTEU 12-01-97 «Derzhavnij pervinnij etalon odinici ob'emnoj aktivnosti radonu-222».
9. DSTU 3536-97. Metrologija. Derzhavna povirochna shema dlja zasobiv vimirjuvan' ob'emnoj aktivnosti radonu-222. Kiïv.: Derzhstandart Ukraïni. 1997, – 7 p.
10. Normi radiacijnoj bezpeki Ukraïni (NRBU-97); Derzhavni gigenichni normativi DGN 6.6.1.-6.5.001-98 [Tekst] : oficijne vidannja. – K.: Viddil poligrafii Ukraïnskogo centru derzhсанепіднагляду MOZ Ukraïni, 1998. – 135 p. – (Normativnij dokument MOZ Ukraïni).
11. WISMUT experience in uranium tailings storage management. Dr. Peter Schmidt, Head Department of Env. Monitoring Radiation Wismut GmbH, Moscow, Oct.31- Nov.2, 2011.

Надійшла (received) 23.10.2018

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Солодовникова Лідія Николаевна (Солодовнікова Лідія Николаївна, Solodovnikova Lidija Nikolaevna)** – Государственное научное учреждение «Научно-технологический комплекс «Институт монокристаллов» Национальной академии наук Украины»; заведуючий відомом екології; e-mail: [lidy@ukr.net](mailto:lidy@ukr.net)

**Тарасов Владимир Алексеевич (Тарасов Володимир Олександрович, Tarasov Volodymyr Alekseevich)** – Институт сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины; д.ф.-м.н. заведуючий відомом сцинтилляційної радіометрії; e-mail: [tarasov@isk.kharkov.com](mailto:tarasov@isk.kharkov.com)

**Шабатин Валентин Николаевич (Шабатин Валентин Миколайович, Shabatın Valentın Nikolaevuch)** – начальник научно-производственного отдела инженерных изысканий і екологічних дослідвань государственного підприємства «Український науково-дослідний і проектно-вишукувальний інститут промислової технології»; e-mail: [valtin9@gmail.com](mailto:valtin9@gmail.com)