



УДК 574:539.1.04:546.296

ОЦЕНКА РАДОНООПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ПРИДНЕПРОВСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

ESTIMATION OF NUCLEAR-FUEL CYCLE OBJECTS RADON HAZARD BY THE EXAMPLE OF PRIDNEPROVSKY CHEMICAL PLANT

Н.С. Дурасова, Г.Д. Коваленко
N.S. Durasova, G.D. Kovalenko

Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Украина, 61166, г. Харьков, ул. Бакулина, 6

Ukrainian Research and Design Institute for Environmental Problems, 6 Bakulina St, Kharkiv, 61166, Ukraine

E-mail: durasova.nata@gmail.com, kovalenko@niiep.kharkov.ua

Ключевые слова: радон, дочерние продукты распада, хвостохранилище, дозовая нагрузка, радиационный риск.

Keywords: radon, progeny decay, tailing, radiation dose, radiation risk.

Аннотация. Хвостохранилища, образовавшиеся в результате работы урановых производств, являются источниками радиационной опасности. Они вносят свой вклад в формирование дозы облучения у населения, проживающего на прилегающих к ним территориях. Радон и его дочерние продукты распада были определены как основные дозобразующие факторы.

В ходе исследования была выполнена расчетная оценка дозовых нагрузок, и радиационных рисков, обусловленных выделением радона с хвостохранилищ Приднепровского химического завода, на население, проживающее в непосредственной близости от объектов. Обозначены основные пути облучения, проведено ранжирование хвостохранилищ по степени опасности и вкладу в формирование дозы и риска. Кроме того, были предложены некоторые меры по уменьшению радоноопасности объектов.

Resume. Tailings, formed as a result of uranium production, are sources of radiation hazard. They contribute to the formation of the radiation dose for the population living in adjacent territories. Radon and its progeny decay products have been identified as main dose-related factors.

At the moment, there are no reliable estimates of the impact of tailings on specific localities in the zone of their actions, so it is important to estimate the radiation doses and risks for the population.

For assessing radiation dose software package CAP88-PC was used.

Estimates of radiation dose and radiation risks posed by the radon release from the tailings of Pridneprovsky chemical plant on the population living in the vicinity of the objects were carried out in the study. The main exposure pathways were indicated, tailings were ranked according to the degree of danger and contribution of dose and risk formation. In addition, some measures to reduce radon hazard of objects were proposed. Tailings were ranked according to the contribution to the formation of radiation doses and risks. Based on their findings, it was found that in the formation of radiation dose and its decay products prevail three main ways: inhalation of radionuclides, the share of this pathway accounts for about 38.8% of the dose; food consumption, the share of this road for about 1.2% of the dose; external radiation from the soil surface, at a fraction of this pathways accounts for about 60% of the dose.

Введение

За годы существования урановой промышленности в Украине, на предприятиях по переработке урановой руды образовалось большое количество хвостохранилищ, общей площадью более 500 га и общей активностью более 5.7×10^{15} Бк, из которых хвостохранилища Приднепровского химического завода занимают около 270 га, с общей активностью около 3×10^{15} Бк.

Хвостохранилища, образовавшиеся в результате функционирования Приднепровского химического завода (ПО «ПХЗ»), после прекращения работы завода, не были приведены в экологически безопасное состояние в соответствии с действующими нормативно-законодательными требованиями по перепрофилированию урановых производств [Лисиченко, Ковач, 2011]. Это привело к загрязнению значительной территории Днепропетровщины и прилегающих к хвостохранилищам населенных пунктов. Радиоактивное загрязнение связано с выделением радона, радиоактивной пыли с поверхности хвостохранилищ, попаданием нуклидов в подземные воды.

Радон (Rn^{222}) и его дочерних продуктов распада (Po^{218} , Pb^{214} , Bi^{214} , Po^{214} , Pb^{210} , Bi^{210} , Po^{210} , At^{218}) вносят основной вклад в формирование дозы облучения, и соответственно – радиационных рисков для населения. Ежегодно из хвостохранилищ ПО «ПХЗ» в воздух поступает



2.13×10^{13} Бк радона, а из хранилищ уранового производства – 2.3×10^{13} Бк радона [Коваленко, 2013].

В данной работе рассматриваются дозовые нагрузки и риски, обусловленные выделением Rn^{222} и его дочерними распада (далее ДПР).

Приднепровский химический завод был одним из крупнейших предприятий по переработке урановых руд в СССР. Годы работы: 1949–1991 гг., располагался в районе г. Днепро-дзержинска (Днепропетровская область, Украина).

В процессе переработки урановой руды были образованы хвостохранилища: «Юго-Восточное», «Центральный Яр», «Западное», «Днепровское», «Сухачевское» (1 и 2 секции), «Лантановая фракция» и два хранилища уранового производства «ДП-6», «База С». Общие характеристики хвостохранилищ и хранилищ уранового производства даны в таблице 1. Отходы уранового производства складировались в глиняных ярах и карьерах, которые не были для этого специально подготовлены. Единственное хвостохранилище, специально спроектированное для хранения отходов уранового производства – «Сухачевское», секция 2.

Таблица 1

Table 1

Общая характеристика хвостохранилищ ПО «ПХЗ» [по: Коваленко, 2013]
General characteristics of the PO «PCP» tailings

№	Название хвостохранилища	Период эксплуатации, гг.	Площадь, га	Масса отходов, млн. т	Объем отходов, млн. т	Общая активность, ТБк
1	Западное	1949–1954	4	0.77	0.35	180
2	Центральный Яр	1950–1954	2.4	0.22	0.10	104
3	Южно-Восточное	1956–1990	3.6	0.33	0.15	67
4	Днепровское	1954–1968	73	12	5.9	1400
5	Лантановая фракция	1965–1988	0.06	0.007	6.6	0.86
6	Доменная печь №6	1962–1982	0.2	0.04	0.04	1.3
7	База «С»	1960–1991	25	0.3	0.15	440
8	Сухачевское, секция 1	1968–1983	90	19	8.6	710
	Сухачевское, секция 2	1983	70	5.6	2.8	270

На данный момент нет достоверных оценок влияния хвостохранилищ на конкретные населенные пункты, находящиеся в зоне их действия, поэтому очень важно оценить дозовые нагрузки и риски для населения.

После эксхалции радона из хвостохранилищ он диффузионно-конвективным путем распространяется в приземном слое атмосферы, создавая радоноопасную обстановку, вокруг хвостохранилища [Porstendörfer, 2007]. Концентрация радона и его ДПР в приземном слое атмосферного воздуха широко варьируется в разное время суток и сезоны года. Изменение их концентрации определяется скоростью эксхалции радона, радиоактивным распадом, рекомбинацией и осаждением, а также перемещением за счет диффузии и с потоком воздуха.

Для оценки дозовых нагрузок, которые получают жители конкретных населенных пунктов, находящихся в непосредственной близости от хвостохранилищ, был использован программный комплекс CAP88-PC.

Полное название продукта – Clean Air Act Assessment Package-1988, он представляет собой компьютерную модель, которая состоит из набора компьютерных программ, баз данных и связанных с ними полезных программ для оценки доз и рисков от выбросов радионуклидов в воздух, был разработан Environmental Protection Agency (Агентство по охране окружающей среды, США).

Описание программного комплекса CAP88-PC приведено в работе R. Rosnick [2007].

В расчетах использовались файлы метеоусловий, характерных для северо-восточной части Приднепровской возвышенности, созданные на основе распределения по категориям стабильности атмосферы по данным метеостанции г. Никополь [Вітько и др., 2006]. Метеорологические показатели, используемые в расчетах: среднегодовая сумма осадков – 51.3 см, среднегодовая температура воздуха – 6.6°C, высота слоя перемешивания – 1038 м [Шапар, 2009]. Потребление пищевых продуктов на душу населения и сведения о количестве населения в населенных пунктах согласно Статистическому сборнику Украины, данные о годовом поступлении радона в атмосферу согласно [Вітько и др., 2006].

Кроме того, при расчетах принималось, что все выращенные продукты потребляются на месте.



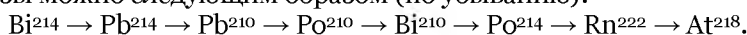
При расчетах учитывалось, что концентрация радона в воздухе внутри и вне помещений равна.

Исходя из полученных данных, было выяснено, что при формировании дозовых нагрузок и его продуктов распада, преобладают три основных пути:

- вдыхание радионуклидов (ингаляция), на долю этого пути приходится около 38.8% дозы;
- потребление продуктов питания, на долю этого пути приходится около 1.2% дозы;
- внешнее облучение от поверхности почвы, на долю этого пути облучения приходится порядка 60% дозы.

Также, следует отметить, что при формировании дозы, образованной, вследствие выделения радона из хвостохранилищ, основную дозообразующую роль играет не Rn^{222} , а его дочерние продукты распада. При том, что на долю самого радона приходится порядка 0.017%.

Отранжировать радон и его дочерние продукты распада в зависимости от вклада в формирование дозы можно следующим образом (по убыванию):



На следующем этапе исследования были определены индивидуальные и коллективные дозы от каждого хвостохранилища, что в итоге, дало возможность оценить суммарные дозы от всех хвостохранилищ на конкретные населенные пункты, как за год, так и за весь период жизни (70 лет), результаты показаны в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Суммарная среднегодовая доза и доза за 70-летний период от радона и его дочерних продуктов распада от всех хвостохранилищ ПО «ПХЗ»
The total average annual dose and dose for a 70-year period from radon and its decay daughter products of all PO «PCP» tailings

Населенный пункт	Доза			
	Индивидуальная доза, мкЗв/год	Коллективная доза, чел-Зв/год	Индивидуальная доза, мкЗв за 70 лет	Коллективная доза, чел-Зв за 70 лет
Днепродзержинск	3.11E+02	7.55E+01	2.17E+04	5.29E+03
Куриловка	4.65E+01	1.23E-01	3.26E+03	8.64E+00
Карнауховка	3.16E+02	2.08E+00	2.21E+04	1.46E+02
Таромское	3.35E+02	5.31E+00	2.35E+04	3.72E+02
Горького	4.92E+02	4.80E-01	3.44E+04	3.36E+01
Ясное	2.89E+02	4.25E-02	2.02E+04	2.98E+00
Шевченко	2.51E+02	2.27E-01	1.76E+04	1.59E+01
Орджоникидзе	2.99E+02	9.52E-02	2.09E+04	6.66E+00
Николаевка ¹	2.91E+02	1.11E+00	2.04E+04	7.75E+01
Николаевка ²	6.19E+01	7.96E-02	4.33E+03	5.57E+00
Благовещенка	2.91E+02	9.99E-02	2.04E+04	6.99E+00
Долинское	3.10E+02	4.62E-02	2.17E+04	3.24E+00
Сухачевка	2.91E+02	3.14E+00	2.03E+04	2.20E+02
Пашена Балка	4.76E+02	1.80E-01	3.33E+04	1.26E+01
Новое	4.60E+02	2.94E-02	3.22E+04	2.06E+00

Важным фактором является то, что три хвостохранилища («Западное», «Центральный Яр», «Юго-Восточное») находятся на территории Днепродзержинска, а остальные («Сухачевское», секции 1, 2, «Днепровское», «База С») – на прилегающих территориях, это играет роль в формировании критических групп населения.

На территории Днепропетровской области 2 населенных пункта с названием Николаевка, для удобства в таблице они обозначены Николаевка¹ – Новомосковский район и Николаевка² – Днепропетровский район.

Согласно действующему украинскому законодательству, основная дозовая граница индивидуального облучения населения не должна превышать 1 мЗв/год, независимо от условий и путей формирования этих доз.

Как видно из таблицы, наибольшие индивидуальные дозы получает население поселков: Горького (4.92×10^2 мкЗв/год), Пашена Балка (4.76×10^2 мкЗв/год), Новое (4.6×10^2 мкЗв/год). Максимальные коллективные дозы у населенных пунктов, с максимальным количеством населения, таких как Днепродзержинск (75.5 чел-Зв/год), Таромское (5.31 чел-Зв/год), Карнауховка (2.08 чел-Зв/год).

Риск возникновения стохастических эффектов были рассчитан, согласно коэффициенту риска, указанному в Публикации №60 (МКРЗ) [ICRP, 1991], закрепленному в действующем



украинском законодательстве [Нормы ..., 1998], и по коэффициенту риска, согласно более новой Публикации №103 (МКРЗ) [ICRP, 2007]. Как можно заметить, риск стохастических эффектов заметно снизился. Результаты указаны в таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Суммарный риск возникновения стохастических эффектов от радона и его дочерних продуктов распада от всех хвостохранилищ «ПХЗ» за 70 лет
The overall risk of stochastic effects of radon and its decay daughter products of all tailings PO «PCP» for 70 years

Населенный пункт	Публикация 60		Публикация 103	
	Индивидуальный риск	Коллективный риск	Индивидуальный риск	Коллективный риск
Днепродзержинск	1.59E-03	3.86E+02	1.24E-03	3.01E+02
Куриловка	2.38E-04	6.31E-01	1.86E-04	4.93E-01
Карнауховка	1.62E-03	1.06E+01	1.26E-03	8.31E+00
Таромское	1.71E-03	2.71E+01	1.34E-03	2.12E+01
Горького	2.51E-03	2.45E+00	1.96E-03	1.91E+00
Ясное	1.48E-03	2.17E-01	1.15E-03	1.7E-01
Шевченко	1.28E-03	1.16E+00	1E-03	9.07E-01
Орджоникидзе	1.53E-03	4.86E-01	1.19E-03	3.8E-01
Николаевка ¹	1.49E-03	5.66E+00	1.16E-03	4.42E+00
Николаевка ²	3.16E-04	4.07E-01	2.47E-04	3.17E-01
Благовещенка	1.49E-03	5.1E-01	1.16E-03	3.98E-01
Долинское	1.59E-03	2.36E-01	1.24E-03	1.84E-01
Сухачевка	1.49E-03	1.6E+01	1.16E-03	1.25E+01
Пашена Балка	2.43E-03	9.19E-01	1.9E-03	7.17E-01
Новое	2.35E-03	1.5E-01	1.84E-03	1.17E-01

Риск возникновения фатального рака рассчитывался с учетом коэффициента риска, закрепленного в документах [ICRP, 1991, Нормы ..., 1998], результаты указаны в таблице 4.

Таблица 4
Table 4

Суммарный риск возникновения фатального рака от радона и его дочерних продуктов распада от всех хвостохранилищ «ПХЗ» за 70 лет
The overall risk of fatal cancer from radon and its decay daughter products of all tailings PO «PCP» for 70 years

Населенный пункт	Индивидуальный риск	Коллективный риск
Днепродзержинск	1.09E-03	2.64E+02
Куриловка	1.63E-04	4.32E-01
Карнауховка	1.11E-03	7.29E+00
Таромское	1.17E-03	1.86E+01
Горького	1.72E-03	1.68E+00
Ясное	1.01E-03	1.49E-01
Шевченко	8.8E-04	7.95E-01
Орджоникидзе	1.05E-03	3.33E-01
Николаевка ¹	1.02E-03	3.88E+00
Николаевка ²	2.17E-04	2.78E-01
Благовещенка	1.02E-03	3.5E-01
Долинское	1.09E-03	1.62E-01
Сухачевка	1.02E-03	1.1E+01
Пашена Балка	1.66E-03	6.29E-01
Новое	1.61E-03	1.03E-01

Максимальный индивидуальный риск возникновения стохастических эффектов и фатального рака имеют жители поселков Горького (2.51×10^{-3} и 1.73×10^{-3} , соответственно), Пашена Балка (2.43×10^{-3} и 1.66×10^{-3} , соответственно), Новое (2.35×10^{-3} и 1.61×10^{-3} , соответственно). Максимальный коллективный риск возникновения стохастических эффектов и фатального рака – Днепродзержинск (3.86×10^2 и 2.64×10^2 , соответственно), Таромское (27.1 и 18.6, соответственно), Сухачевка (10.6 и 11, соответственно).



Отранжируем хвостохранилища, по вкладу в формирование доз и радиационных рисков (по уменьшению):

«База С» → «Сухачевское», секция 1 → «Западное» → «Юго-Восточное» → «Центральный Яр» → «Днепровское» → «Сухачевское», секция 2.

Выводы

Результаты исследования показали, что хранилище уранового производства «База С» вносит наибольший вклад в формирование дозы от радона и его дочерних продуктов распада для населения.

Индивидуальная доза от радона и его дочерних продуктов распада, в населенных пунктах, расположенных в непосредственной близости от этого объекта, таких как поселки Горького, Пашена Балка, Новое, составляет около 50% от допустимой годовой дозы, согласно Закону Украины «Про защиту человека от ионизирующего излучения».

Получаемые населением дозы от радона и его дочерних продуктов распада можно существенно уменьшить, переработав урановую руду, составляющую большую часть хранилища «База С».

Оценка возможности доизвлечения урана дает положительные результаты. На данный момент, такие исследования были проведены только для хвостохранилища «Западное» [Сорока и др., 2011]. При ранжировании по вкладу в формирование дозы от радона и его ДПР данное хвостохранилище стоит на третьем месте, это может быть объяснено высоким содержанием урана в его отвалах. Следует провести исследования возможности доизвлечения урана для хвостохранилища «Сухачевское», секция 1, оценить экономическую выгоду.

Что касается оставшихся четырех хвостохранилищ – «Центральный яр», «Юго-Восточное», «Днепровское», «Сухачевское», секция 2, следует провести их реабилитацию.

Особое внимание необходимо уделить хвостохранилищу «Днепровское», его вклад в формирование дозы от радона, по сравнению с другими хвостохранилищами не значительный, однако, согласно выводам экспертов МАГАТЭ [Коровин и др., 2004] это хвостохранилище является самым опасным для подземных вод и реки Днепр, так как является источником попадания в них радионуклидов.

Список литературы References

1. Вітько В.І., Гончарова Л.І., Коваленко Г.Д., Карташов В.В., Кузін А.І., Якименко М.П. 2006. Наукова еколого-експертна оцінка радіаційного впливу хвостохвищ та інших радіаційно небезпечних об'єктів колишнього ВО «ПХЗ» (м. Дніпродзержинськ). Харьков, УкрНІІЕП, 143.

Vit'ko V.I., Goncharova L.I., Kovalenko G.D., Kartashov V.V., Kuzin A.I., Jakimenko M.P. 2006. Naukova ekologo-ekspertna ocinka radiacijnoho vplivu hvostoshovishh ta inshih radiacijno nebezpechnih ob'ektiv kolishn'ogo VO «PHZ» (m. Dniprodzerzhinsk) [Scientific ecological and expert assessment of radiation exposure tailings and other radioactive facilities of the former PO «PCP» (Dneprodzerzhinsk)]. Kharkiv, UkrNIIeP, 143. (in Ukrainian)

2. Коваленко Г.Д. 2013. Радиоэкология Украины. Харьков, ИД «ИНЖЕК», 344.

Kovalenko G.D. 2013. Radiojekologija Ukrainy [Radioecology of Ukraine]. Kharkiv, ID «INZhEK», 344. (in Russian)

3. Коровин В.Ю., Семенец Г.А., Лебедев В.Н. 2004. Влияние радиоактивных отходов хвостохранилища «Днепровское» на окружающую среду. В кн.: Материалы 1-ой международной конференции «Сотрудничество для решения проблем отходов» (г. Харьков, 5–6 февраля 2004 г.). Электронный ресурс. URL: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/korovin.html> (25 января 2015).

Korovin V.Ju., Semenec G.A., Lebedev V.N. 2004. The impact of radioactive waste tailings «Dneprovskoe» on the environment. In: Materialy 1-oj mezhdunarodnoj konferencii «Sotrudnichestvo dlja reshenija problem othodov» (g. Har'kov, 5–6 fevralja 2004 g.) [Proceedings of the 1st International conference «Cooperation for solving problems of waste» (Kharkiv, 5–6 February 2004)]. Available at: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/korovin.html> (accessed 25 January 2015). (in Russian)

4. Лисиченко Г.В., Ковач В.Е. 2013. Мировой опыт реабилитации урановых производств. В кн.: Збірник наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». Вип. 6. Київ-Кременчук: 4–12.

Lisichenko G.V., Kovach V.E. 2013. World experience of rehabilitation of uranium production. In: Zbirnik naukovih prac' «Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta civil'nij zahist». Vip. 6 [Collection of scientific papers «Man-caused environmental security and civil protection». Vol. 6]. Kiev-Kremenchug: 4–12. (in Russian)

5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. Дата введення 01.01.1998.

Radiation Safety Standards of Ukraine (RSSU-97). Public hygiene standards. Date of introduction 01.01.1998. (in Ukrainian)



6. Сорока Ю.Н., Мочанов А.И., Подрезов А.А., Каулько Е.А., Коровин В.Ю., Погорелов Ю.Н., Меркулов В.А., Валяев А.М. 2011. Оценка возможности доизвлечения урана из радиоактивных отходов хвостохранилища «Западное». *В кн.: Материалы 8-ой международной конференции «Сотрудничество для решения проблем отходов»* (г. Харьков, 23–24 февраля 2011 г.). Электронный ресурс. URL: <http://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html> (25 января 2015).

Soroka J.N., Mochanov A.I., Podrezov A.A., Kaul'ko E.A., Korovin V.J., Pogorelov J.N., Merkulov V.A., Valjaev A.M. 2011. Assessing the possibility of additional recovery of uranium from radioactive waste tailings «Zapadnoe». *In: Materialy 8-oj mezhdunarodnoj konferencii «Sotrudnichestvo dlja reshenija problem othodov»* (g. Har'kov, 23–24 fevralja 2011 g.) [Proceedings of the 8th International conference «Cooperation for solving problems of waste» (Kharkiv, 5–6 February 2011)]. Available at: <http://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html> (accessed 25 January 2015). (in Russian)

7. Шанар А.Г. 2009. Экологический атлас Днепропетровской области. Днепропетровск: Монолит, 64.

Shapar A.G. 2009. Jekologicheskij atlas Dnepropetrovskoj oblasti [Environmental Atlas of the Dniipropeetrovsk region]. Dnepropetrovsk, Monolit, 64. (in Russian)

8. Porstendörfer J. 1994. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. *Journal of Aerosol Science*, 25 (2): 219–263.

9. ICRP. 1991. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).

10. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).

11. Rosnick R. 2007. CAP88-PC Version 3.0 User Guide. Washington, DC, Environmental Protection Agency, 210.