

Радиационно-гигиеническая обстановка в районе размещения хранилищ отходов сублиматного производства АО «АЭХК»

Ю.Н. Зозуль¹, С.М. Киселёв¹, В.В. Шлыгин¹, С.В. Ахромеев¹, А.Н. Малахова¹, Т.И. Гимадова¹,
Ю.С. Бельских¹, Ю.В. Арчакова², Л.Н. Галицкая²

¹ Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

² Центр гигиены и эпидемиологии № 28 Федерального медико-биологического агентства России, Ангарск, Россия

В соответствии с основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности государственная корпорация «Росатом» осуществляет реабилитацию объектов ядерного наследия акционерного общества «АЭХК». В статье представлены результаты комплексного исследования состояния загрязнения окружающей среды, проведенного в период 2021–2023 гг. в районе расположения хранилищ отходов сублиматного производства акционерного общества «АЭХК», где осуществляются работы по выводу из эксплуатации. Исследования радиационно-гигиенической обстановки включали оценку мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на местности, отбор проб объектов окружающей среды (почвогрунт, подземные воды наблюдательных скважин) с анализом содержания загрязнителей радиационной и нерадиационной природы. Радиационная обстановка, включая мощность дозы гамма-излучения, содержание природных и техногенных радионуклидов в почвогрунте в районе расположения исследуемых объектов, характеризуется фоновыми значениями. Анализ загрязнения подземных вод выявил наличие урана, концентрация которого на порядок и более превышает фоновые уровни. Показано, что в районе обводненных карт шламоотстойников наблюдаются максимальные уровни удельной суммарной альфа-активности и содержания урана. Полученные данные свидетельствуют о том, что накопленное содержимое шламоотстойников (донные отложения, пульпа) взаимодействует с природными водами. Сложившаяся ситуация требует проведения мониторинговых исследований динамики распространения урана и других загрязнителей с подземными водами. Рекомендована оптимизация существующих программ мониторинга состояния загрязнения окружающей среды в санитарно-защитной зоне предприятия. Предложены референсные уровни содержания урана для дальнейшего наблюдения за состоянием загрязнения подземных вод.

Ключевые слова: мониторинг, вывод из эксплуатации, уран, подземные воды, отходы, сублиматное производство.

Введение

Акционерное общество «Ангарский электролизный химический комбинат» (АО «АЭХК», входит в Топливную компанию Росатома «ТВЭЛ») – предприятие по производству обогащенного гексафторида урана, применяемого для изготовления ядерного топлива для атомных электростанций. В настоящее время АО «АЭХК» осуществляет свою деятельность в рамках разделительного производства (разделение изотопов урана в газовых центрифугах для получения обогащенного по урану-235 сырья для изготовления ТВЭЛов). До 2014 г. в АО «АЭХК» также функционировало сублиматное производство безводного фтористого водорода и фтора с последующим переводом урана в форму гексафторида (ГФУ).

Технология обогащения урана, используемая в сублиматном производстве, включала перевод его в шести-

валентную форму U^{+6} с применением азотной кислоты и с последующей его экстракцией. В период до 1993 г., наряду с сырьем природного происхождения, на АО «АЭХК» перерабатывалось и сырье вторичного происхождения (регенерированное сырье), которое содержало транс-урановые элементы. В ходе технологического процесса образовывались закисленные отходы, которые после нейтрализации гашеной известью размещались в шламоотстойники за территорией промплощадки АО «АЭХК». Также за территорией промплощадки АО «АЭХК» в специально оборудованных хранилищах подземного типа размещались твердые радиоактивные отходы (РАО) и отработавшие источники ионизирующего излучения (ИИИ).

Особенностью АО «АЭХК» является его нахождение в границах экологической зоны атмосферного влияния Байкальской природной территории. На Байкальской

Зозуль Юлия Николаевна

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна

Адрес для переписки: 123098, Москва, ул. Живописная, 46; E-mail: julnik@list.ru

природной территории, согласно статье 6 Федерального закона от 01.05.1999 г. № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал»¹, запрещаются или ограничиваются виды деятельности, при осуществлении которых оказывается негативное воздействие на уникальную экологическую систему озера Байкал, связанное со сбросами и с выбросами вредных веществ, размещением отходов производства и потребления.

С 2010 г. АО «АЭХК» нарабатывает уникальные компетенции, осуществляя вывод из эксплуатации объектов ядерного наследия и реабилитацию загрязненных территорий в соответствии с основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности (Распоряжение Правительства РФ от 19.04.2007 г. № 484-р²). На сегодняшний день в санитарно-защитной зоне за пределами промплощадки предприятия осуществляются работы по консервации шламоотстойников и выводу из эксплуатации хранилищ технологических отходов сублиматного производства.

Многофакторный характер выбросов, сопровождающий производственную деятельность предприятия, а также заявленный состав отходов, хранящихся в выводимых из эксплуатации хранилищах и шламоотстойниках, определили необходимость оценки существующего состояния загрязнения территории перед проведением планируемых работ по выводу из эксплуатации хранилищ РАО (состояние на 2021 г.) и в ходе выполнения работ.

Цель исследования – изучение радиационно-гигиенической обстановки для оценки существующего состояния загрязнения окружающей среды, определения приоритетных загрязнителей и оптимизации мониторинговых исследований в ходе проведения работ по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия АО «АЭХК» и после их завершения.

Характеристика района размещения объектов ядерного наследия

Хранилища технологических отходов сублиматного производства АО «АЭХК» (комплекс сооружений 310, 311 и 325) являются потенциальными источниками загрязнения окружающей среды. Сооружения располагаются на территории санитарно-защитной зоны предприятия и находятся в городской черте города Ангарска (рис. 1). В условиях деградации инженерных барьеров одним из основных путей распространения загрязнения в окружающую среду является миграция с подземными водами. Этому способствуют почвенно-геологические особенности местности. Вмещающими грунтами являются аллювиальные мелко- и среднезернистые пески в естественном залегании и техногенные грунты, представленные теми же песками, перемещенными в результате производственной деятельности [1]. По данным

многолетних наблюдений, уровень стояния грунтовых вод характеризуется относительной стабильностью. Уровень стояния воды в сети наблюдательных скважин в весенне-летне-осенний период составляет в среднем 9 м от поверхности, изменяясь в диапазоне от 4 до 18 м. Основное направление движения грунтовых вод – северное и северо-восточное, от площадки АО «АЭХК» к реке Ангара [2]. Дополнительным путем распространения загрязнения в ходе вывода из эксплуатации хранилищ твердых РАО являются атмосферные выбросы в процессе извлечения и перетаривания отходов на участках обращения с РАО. Вероятность влияния возможных атмосферных выбросов радионуклидов и других загрязняющих веществ на окружающую среду и население близлежащих поселков минимизирована принятыми защитными мерами оператора площадки с учетом особенностей ветрового режима местности.

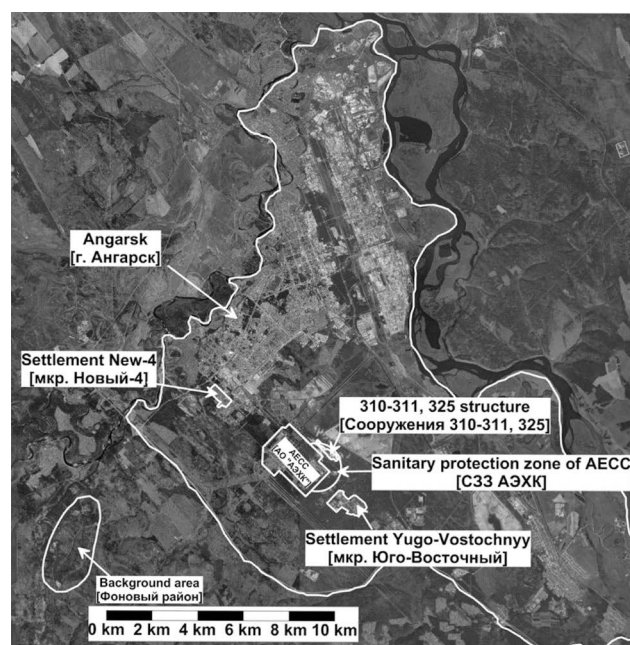


Рис. 1. Карта размещения хранилищ отходов сублиматного производства АО «АЭХК»
[Fig. 1. The area of waste storage facilities of JSC «AECC»]

Хранилище твердых радиоактивных отходов (сооружение 310) представляет собой комплекс сооружений в виде монолитных железобетонных конструкций суммарным объемом около 11 000 м³, обвалованных сверху насыпью грунта. В состав отходов входят твердые радиоактивные отходы химического цеха сублиматного производства, содержащие изотопы урана, трансурановые элементы, оксид железа, пластикат, а также отработавшие источники ионизирующего излучения. Содержание

¹ Федеральный закон от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал». Принят Государственной Думой 2 апреля 1999 г. Одобрен Советом Федерации 22 апреля 1999 г. [Federal Law of May 1, 1999 N 94-FZ On the Protection of Lake Baikal. Adopted by the State Duma on April 2, 1999. Approved by the Federation Council on April 22, 1999 (In Russ)].

² Распоряжение Правительства РФ от 19.04.2007 г. № 484-р «О Концепции федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» [Order of the Government of the Russian Federation dated April 19, 2007 N 484-r "On the Concept of the federal target program "Ensuring nuclear and radiation safety for 2008 and for the period until 2015" (In Russ)].

урана в отходах варьирует от 0,64 до 1%, преобладающая форма урана – соли и оксиды урана [3]. Отходы производства находятся в твердом агрегатном состоянии и относятся к категории удаляемых отходов. В 2021 г. начаты работы по выводу из эксплуатации хранилищ твердых РАО (сооружение 310) по сценарию «Ликвидация» с последующей реабилитацией загрязненных территорий. На площадке создана инфраструктура обращения с РАО, осуществляется выгрузка, инвентаризация, перетаривание контейнеризованных отходов и временное их размещение до передачи национальному оператору. По состоянию на осень 2023 г. от насыпного грунта до подошвы фундамента освобождены часть бетонных хранилищ РАО, завершается первый этап извлечения и переработки РАО. Выгруженные хранилища законсервированы до принятия проектных решений по их удалению.

Комплекс сооружений шламоотстойников жидких отходов сублиматного производства, нейтрализованных гашеной известью (сооружение 311), состоит из 6 карт. Карты представляют собой наземные открытые емкости прямоугольной формы размерами 100 × 70 м и вместимостью 17 000 м³ (сооружения I–IV) и 18 000 м³ (сооружения V–VI). Шламоотстойники были заполнены до проектных уровней, мощность слоя илов составляет около 2,5 м [3, 4]. Отстаивание пульпы происходит с накоплением на дне твердого осадка, содержащего соли урана.

По состоянию на 2023 г.: карты I и II законсервированы в соответствии с проектной документацией с применением технологии покрытия поверхности хранилищ водонепроницаемым материалом с насыпным грунтом для предотвращения загрязнения атмосферного воздуха пылепереносом, на картах III и IV осуществляются работы по консервации. Карты V–VI представляют собой поверхностные водные объекты, сброс пульпы прекращен в 2012 г., в настоящее время эксплуатируются в режиме «остановки» с поддержанием в безопасном состоянии, исключая пылеперенос. Доступ к картам V и VI не ограничен, вопрос о консервации не решен, рассматривается вариант окончательной изоляции иловых отложений на месте в статусе особых РАО.

Комплекс сооружений 325 представляет шламовые поля, где хранятся фторгипсовые отвалы – твердые отходы производства безводного фтористого водорода химического цеха сублиматного производства (сернокислотное разложение плавикового шпата). Отвалы фторгипса представляют собой плоские залежи пастообразной массы светло-серого цвета. Территория сооружений 325 не огорожена, доступ населения не ограничен.

Методы и средства исследования

Исследования радиационно-гигиенической обстановки включали измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) на местности, отбор проб объектов окружающей среды (почвогрунт, подземные воды наблюдательных скважин) для анализа содержания загрязнителей радиационной природы и токсичных металлов.

В качестве фоновой территории с учетом однотипности рельефа и преобладающего направления ветра принята территория в районе оздоровительного комплекса «Училище Олимпийского резерва», расположенная в 14 км на юго-запад от г. Ангарска.

Оценка радиационной обстановки на местности проведена методом пешеходной гамма-съемки с измерением МАЭД (МКС-01А «Мультирад-М», Россия). Лабораторные исследования радионуклидного состава и удельной активности радионуклидов выполнены методами спектрометрии (гамма-спектрометр «CANBERRA» с полупроводниковым германиевым детектором, США) и радиометрии (радиометр УМФ-2000, Россия). Оценка содержания урана в пробах окружающей среды проводилась методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ICP MS (Agilent 7500 cx).

Математическая обработка результатов проводилась посредством MS Excel 2016. В качестве показателя центральной тенденции использована медиана и границы её доверительного интервала при P=0,95 в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004³. В соответствии с принципом консервативности минимальные и максимальные значения, а также границы доверительного интервала медианы приведены с запасом на расширенную неопределённость измерений.

Радиационная обстановка

Значения МАЭД в районе расположения АО «АЭХК» представлены в таблице 1. Максимальные и медианные значения МАЭД в районе размещения шламоотстойников (сооружения 311, 325) варьируют в узком диапазоне 0,04–0,20 мкЗв/ч, не превышая значений в близлежащих населенных пунктах, и в целом соответствуют среднему значению по Байкальской природной территории 0,15 мкЗв/ч⁴.

Радиационная обстановка на территории сооружения 310 определяется спецификой проводимых работ (табл. 2). Вблизи освобожденных от грунта стен бетонных хранилищ значения МАЭД варьируют в пределах от 0,04

³ ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (дата обращения: 10.07.2020) [GOST R ISO 16269-7-2004. Statistical methods. Statistical presentation of data. Median. Determination of point estimates and confidence intervals [Electronic resource] // CODE: electronic fund of legal and regulatory technical documentation. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (Accessed: 07/10/2020) (In Russ)].

⁴ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. 684 с. [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2021. State report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Moscow State University named after M.V. Lomonosova, 2022; 684 p. (In Russ)].

Таблица 1

Параметры радиационной обстановки в районе размещения АО «АЭХК»

[Table 1]

[For median values, the boundaries of their confidence intervals at P = 0.95 are indicated in parentheses]

Локации [Sites]	Количество измерений [Number of measurements]	МАЭД, мкЗв/ч [ADER, $\mu\text{Sv/h}$]	
		Max	Медиана* [Median]
г. Ангарск [Angarsk]	3262	0,23	0,09 (0,06–0,12)
пос. Новый-4 [settlement New-4]	454	0,21	0,07 (0,05–0,10)
пос. Юго-Восточный [settlement Yugo-Vostochnyy]	564	0,19	0,08 (0,06–0,11)
СЗЗ АЭХК [SPZ of AECC]	1904	0,20	0,08 (0,05–0,10)
Сооружение 311 (карты I-VI) [311 structure (maps I-VI)]	2043	0,20	0,08 (0,05–0,11)
Сооружение 325 [325 structure]	1702	0,14	0,04 (0,02–0,05)
Фоновый район [Background area]	350	0,12	0,06 (0,04–0,08)

* Для медианных значений в скобках указаны границы их доверительных интервалов при P=0,95.
[Median values and the confidence interval boundaries, P=0,95].

Таблица 2

Параметры радиационной обстановки в ходе проведения работ по выводу из эксплуатации хранилища твердых радиоактивных отходов (сооружения 310)

[Table 2]

For median and geometric mean values, the boundaries of their confidence intervals at P = 0.95 are indicated in parentheses]

Год исследования [Year of study]	Мероприятия по выводу из эксплуатации сооружения 310 [Measures for decommissioning of 310 structure]	МАЭД, мкЗв/ч* [AEDR, $\mu\text{Sv/h}$]		Медиана [Median]	Среднее геометрическое [Geometric mean]
		Min	Max		
1	2	4	5	6	7
Площадка сооружения 310 [Area of 310 structure]					
2021	До начала работ по выводу из эксплуатации [Before the decommissioning work]	0,04	0,37	0,07 (0,05–0,09)	0,07 (0,07–0,07)
2022	Снятие грунта с обвалованных хранилищ, извлечение РАО [Removal of soil from diked storage facilities, extraction of radioactive waste]	0,04	5,3	0,10 (0,07–0,14)	0,14 (0,13–0,15)
2023	Снятие грунта с обвалованных хранилищ, извлечение РАО [Removal of soil from diked storage facilities, extraction of radioactive waste]	0,04	4,1	0,13 (0,07–0,19)	0,23 (<0,1–1,2)
Технологические участки обращения с РАО на территории сооружений 310 [Technological areas for radioactive waste management on the territory of 310 structures]					
2022	Участок хранения грунта и стоянки техники [Soil storage and equipment parking area]	0,05	2,5	0,11 (0,07–0,16)	0,14 (0,13–0,16)
2022	Участок перетаривания и хранения контейнеризованных РАО (вне помещений) [Area for repacking and storage of containerized radioactive waste (outdoors)]	0,08	17	0,98 (0,5–1,5)	0,97 (0,7–1,3)
2023	Участок перетаривания и хранения контейнеризованных РАО (вне помещений) [Area for repacking and storage of containerized radioactive waste (outdoors)]	0,04	9,9	1,1 (0,4–3,5)	1,3 (0,5–3,7)

* Для медианных и средних геометрических значений в скобках указаны границы их доверительных интервалов при P=0,95.
[In parentheses – the limits of the confidence interval when P=0,95].

до 5,3 мкЗв/ч. Медианное значение соответствует показателю радиационной обстановки до начала проведения работ по вскрытию грунта на территории хранилищ. Для выполнения работ по выводу из эксплуатации на территории организованы участки кондиционирования РАО и временного хранения контейнеризованных РАО, где отмечено повышение значений МАЭД до контрольных уровней, установленных на период выполнения работ.

Удельная активность радионуклидов в почвогрунте

Результаты анализа проб поверхностного слоя почвогрунта на содержание техногенных и природных радионуклидов представлены в таблице 3. Удельная активность ^{226}Ra и ^{232}Th в поверхностном слое почвогрунтов в районе размещения сооружений 310 и 311 варьирует в диапазоне от 5 до 40 Бк/кг, соответствуя значениям в фоновом районе, медианные значения составляют 14 и 19 Бк/кг соответственно. Содержание техногенного ^{137}Cs в поверхностном слое не превышает 12 Бк/кг, находясь на уровне значений в фоновом районе. На глубине залегания основания бетонных сооружений, вскрытых в ходе работ по выводу из эксплуатации, обнаруживаются техногенные радионуклиды ^{241}Am (до 36 Бк/кг) и ^{152}Eu (0,7 Бк/кг), тогда как в поверхностном слое грунта на территории расположения сооружений радионуклидный состав определяется природными радионуклидами в концентрациях, не превышающих фоновых значений. В грунте отвалов сооружений 325 удельная активность природного ^{226}Ra и ^{232}Th

составляет 8 и 2 Бк/кг соответственно. Из техногенных радионуклидов отмечен ^{137}Cs активностью на уровне минимально детектируемой, что, в свою очередь, подтверждает радиационную безопасность отвалов фторгипса, используемого в качестве сырья для производства сухих строительных смесей [5, 6].

Оценка состояния загрязнения подземных вод

Определение качества подземных вод осуществляли в результате анализа проб воды наблюдательных скважин существующей сети по показателям суммарной альфа-активности и содержанию урана в весенне-осенний период года. В настоящее время на исследуемой территории эксплуатируются 11 скважин глубиной от 7 до 12 м (рис. 2).

В районах расположения хранилищ твердых РАО, фторгипса и шламоотстойников (I–IV карты) суммарная альфа-активность подземных вод варьирует в диапазоне от менее 0,025 до 0,15 Бк/кг, что не превышает критерия предварительной оценки качества воды по показателям радиационной безопасности, установленного для питьевой воды (НРБ-99/2009⁵). Установленный для питьевой воды критерий выбран в качестве реперного значения для мониторинга состояния загрязнения подземных вод. Наибольшие значения данного показателя наблюдаются в районе расположения обводненных шламоотстойников (V–VI карты) в весенний и осенний периоды года, максимальное значение составило $0,26 \pm 0,04$ Бк/кг.

Содержание природных и техногенных радионуклидов в поверхностном слое почвогрунта (0–10 см)

Таблица 3

Content of natural and artificial radionuclides in the surface layer of soil (0–10 cm)]

[Table 3

Территория [Sites]	Удельная активность, Бк/кг* [Specific activity, Bq/kg]					Тип грунта [Soil type]
	^{232}Th	^{226}Ra	^{137}Cs	^{235}U	$A_{\alpha\text{ф.ф.}} [A_{\text{eff}}]$	
Сооружение 310 [310 structure]	21 (14–27) 35	13 (10–18) 23	2 (<1–3) 10	1,4 (0,8–1,9) 3,6	114 (75–163) 172	Песчаник [sandstone]
Сооружение 311, карты I–IV [311 structure (maps I–VI)]	17 (5–40) 40	14 (6–27) 27	2 (<1–12) 12	1,8 (<0,9–2,3) 2,3	150 (103–199) 199	Песчаник, фторгипс [sandstone, fluorogypsum]
Сооружение 311, карты V–VI [311 structure (maps V–VI)]	19 (14–26) 26	15 (10–22) 22	1 (<1–3) 3	3,0 (2,7–3,3) 3,3	130 (117–144) 144	Песчаник с плодородным слоем [sandstone with fertile layer]
Сооружение 325 [325 structure]	2 (<1–3) 30	8 (4–16) 40	2 (<1–3) 3	0,5 (0,3–0,9) 2,3	20 (8–33) 159	Фторгипс [fluorogypsum]
Фоновый район [Background area]	21±2	17±2	5±2	1,7±0,3	170±35	Плодородный слой [fertile layer]
$A_{\text{ни}}$	–	–	100		–	

*Числитель – медиана (доверительный интервал), знаменатель – максимальное значение [The numerator is the median (confidence interval), the denominator is the maximum value].

⁵ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534 (далее – НРБ-99/2009). [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration No. 14534 (hereinafter – NRB-99/2009). (In Russ.)]

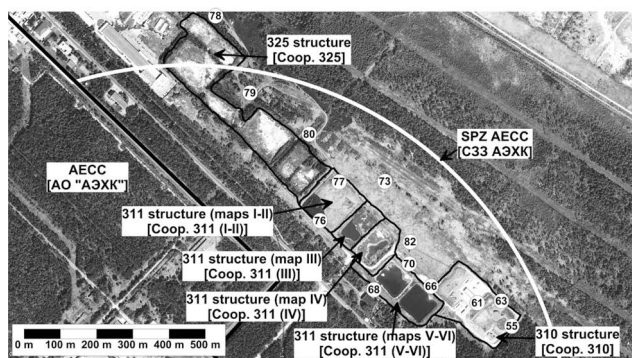


Рис. 2. Расположение наблюдательных скважин в районе расположения хранилищ отходов сублиматного производства АО «АЭХК»

[Fig. 2. The network of observation wells in the vicinity of waste storage facilities of JSC «AECC»]

Шламоотстойники являются потенциальным источником загрязнения подземных вод. При нарушении герметичности барьеров безопасности возможно дренирование осветленной пульпы через трещины/стыки стенок и дна хранилищ и взаимодействие с грунтовыми водами.

В целях мониторинга динамики распространения урана с подземными водами оценку его содержания определяли по концентрации металла в воде скважин наблюдательной сети. Результаты проведенных в 2022–2023 гг. исследований показали, что концентрация урана подвержена сезонным колебаниям в течение года и варьирует в широком диапазоне от $8 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ мг/л. При этом содержание металла более чем в 3 раза ниже гигиенического норматива для вод объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК – 0,015 мг/л) (СанПиН 1.2.3685-21⁶). В районе выводимых из эксплуатации хранилищ твердых РАО (сооружение 310) содержание урана находится на уровне фоновых показателей, характерных для подземных вод данной местности. Наибольшее содержание урана наблюдается в районе обводненных шламоотстойников (карты V–VI), превышение фона составляет 2–3 порядка (рис. 3А). В районе законсервированных шламоотстойников (карты I–IV) содержание урана снижается, в среднем составляя 0,002 мг/л с максимальным значением $0,004 \pm 0,002$ мг/л (рис. 3В). В районе отвалов фторгипса (сооружение 325) уровень содержания урана в целом соответствует фоновому, при этом отмечаются значения, отличающиеся от фона на 1–2 порядка в осенний и весенний периоды (рис. 3С).

Полученные данные согласуются с результатами предыдущих исследований и определяют особенности миграции соединений урана в окружающей среде [1, 2]. Известно, что подвижность соединений урана в природных водах зависит от окислительно-восстановительного потенциала и кислотно-основных свойств водной среды [2]. Наибольшая мобильность соединений урана в водной среде определяется формированием условий, в которых уран находится в максимальной степени окисления

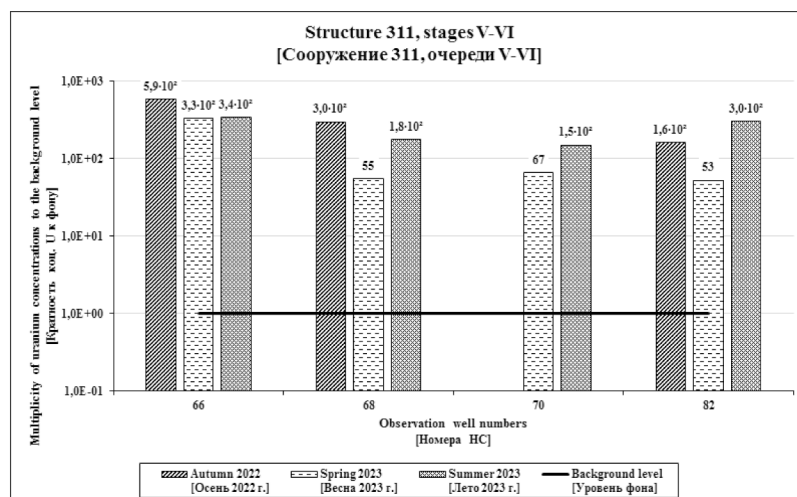
(+VI) в виде устойчивых комплексов с карбонат-ионом, образованию которых способствует щелочная среда. В работах Богуславского А.Е. и др. было показано, что химическая среда шламоотстойников способствует формированию благоприятных условий для миграции урана [2]. Окислительно-восстановительная среда шламоотстойников определяется парой нитрат/нитрит анионов, содержание которых превышает нормируемые показатели в воде в несколько раз. Это способствует поддержанию урана в максимальной степени окисления (+VI) и препятствует его переходу в восстановленную слабомигрирующую форму (+IV). Наряду с этим, в шламоотстойниках в значительных количествах присутствуют карбонаты и гидрокарбонаты, формирующие щелочную среду и образующие прочные комплексы с ураном (VI). Учитывая тот факт, что отходы сублиматного производства расположены в проницаемом песчаном грунте, неизбежно их взаимодействие с метеорными и грунтовыми водами. Подтверждением этого факта является наблюдаемая повышенная основность, обусловленная повышенным содержанием гидрокарбонатов ($\text{pH}=9$), и измененный ионный состав подземных вод в районе шламоотстойников [2].

Заключение

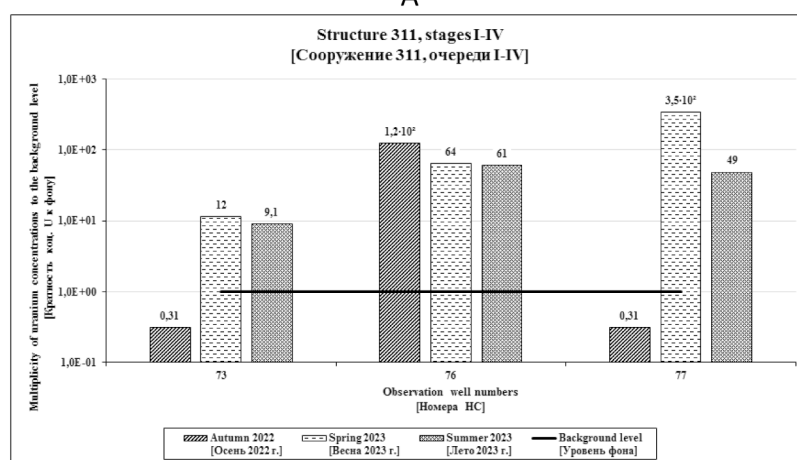
Радиационно-гигиеническая обстановка в районе расположения выводимого из эксплуатации комплекса хранилищ твердых РАО в целом характеризуется фоновыми уровнями, соответствующими региональным показателям по Иркутской области. На территории выводимого из эксплуатации комплекса имеются локальные участки обращения с РАО (производственные участки выгрузки и кондиционирования РАО), где МАЭД достигает установленных контрольных уровней на период проведения работ. В почвогрунте у основания выводимых из эксплуатации хранилищ РАО (сооружение 310) присутствуют техногенные радионуклиды ^{241}Am и ^{152}Eu в концентрациях, не превышающих критерия неограниченного использования. Подземные воды наблюдательных скважин в районе сооружения 310 в целом соответствуют нормируемым показателям радиационной безопасности вод объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и характеризуются близкими к фоновым значениям концентрации урана.

Законсервированные хранилища жидких технологических отходов сублиматного производства (сооружение 311, карты I–VI) остаются потенциальным источником загрязнения подземных вод ураном. Химический состав пульпы и слоя донных отложений шламоотстойников, с учетом особенности вмещающих грунтов, формируют условия, определяющие повышенную миграционную активность соединений урана в подземные воды. Максимальные концентрации урана, обнаруженные в районе обводненных карт шламоотстойников (карты V–VI), не превышают ПДК, при этом выше фоновых значений на два порядка и более. По результатам проведенных исследований предложены ре-

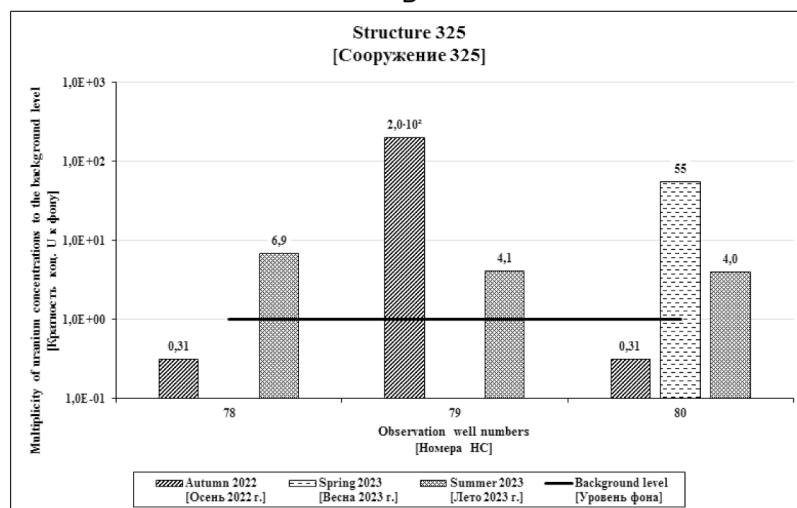
⁶ Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans (In Russ.)]



A



B



C

Рис. 3. Распределения урана в подземных водах в районе расположения хранилищ сублиматного производства АО «АЭХК»
(А – карты V–VI сооружения 311, В – карты I–IV сооружения 311, С – сооружение 325)
[Fig.3. Distribution of uranium in groundwater in the area where the sublimation production storage facilities of JSC “AECC” are located
(A – st. V-VI str. 311, B – st. I-IV str. 311, C – str.325)]

ференсные уровни содержания урана для дальнейшего наблюдения за состоянием подземных вод до принятия практических решений о выводе законсервированных шламоотстойников из зоны активного водообмена и их рекультивации.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Зозуль Ю.Н. – сбор материала и анализ данных, написание текста.

Киселёв С.М. – концепция и дизайн исследования, сбор и анализ данных, написание текста.

Шлыгин В.В. – сбор материала и обработка данных, написание текста.

Ахромеев С.В. – сбор материала и обработка данных, редактирование.

Малахова А.Н. – анализ литературного материала, проведение измерений проб.

Гимадова Т.И. – проведение измерений проб, статистическая обработка данных.

Бельских Ю.С. – проведение измерений проб.

Арчакова Ю.В. – редактирование текста.

Галицкая Л.Н. – сбор материала, проведение измерений проб.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Шемелина О.В. Закономерности миграции урана в низкорадиоактивных хранилищах отходов (на примере АО АЭХК). Специальность 25.00.09. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых: дисс... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 2019. 154 с.
2. Богуславский А.Е., Гаскова О.Л., Шемелина О.В. Миграция урана в грунтовых водах района шламохранилищ Ангарского электролизного химического комбината // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, вып. 5. С. 515-529. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18226767> (Дата обращения: 10.09.2023).
3. Материалы по оценке воздействия на окружающую среду «Вывод их эксплуатации хранилища сооружения 310 АО «АЭХК». Ангарск, 2014.
4. Рабочий проект консервации шламоотстойников (сооружения 3113-4) химического завода ФГУП «АЭХК». ФГУП НГПИИ «ВНИПИЭТ». Заказ 0308.А. Инв. № 92996 пф. Новосибирск, 2004.
5. Кузьмин М.П., Ларионов Л.М., Кузьмина М.Ю., Григорьев В.Г. Промышленное использование фторгипса – отхода производства плавиковой кислоты // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9, № 2. С. 324–333. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-2-324-333.
6. Отчет по экологической безопасности АО «АЭХК» за 2020. Ангарск, 2021. 33 с. URL: <http://www.aecc.ru/attachments/article/1268/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BB.%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%D0%90%D0%AD%D0%A5%D0%9A%202020.pdf> (Дата обращения: 10.09.2023)

Поступила: 30.10.2023 г.

Зозуль Юлия Николаевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 123098, Москва, ул. Живописная, 46; E-mail: julnik@list.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-1806>

Киселев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией регулирующего надзора за объектами ядерного наследия, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2613-2293>

Шлыгин Владимир Васильевич – младший научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9557>

Ахромеев Сергей Викторович – научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6564-3045>

Малахова Анна Николаевна – младший научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3868-3671>

Гимадова Тамара Ивановна – старший научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-2610>

Бельских Юрий Сергеевич – научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6013-6610>

Арчакова Юлия Владимировна – главный врач, Центр гигиены и эпидемиологии № 28 Федерального медико-биологического агентства России, Ангарск, Россия

Галицкая Любовь Николаевна – заведующая лабораторией – химик-эксперт, Центр гигиены и эпидемиологии № 28 Федерального медико-биологического агентства России, Ангарск, Россия

Для цитирования: Зозуль Ю.Н., Киселёв С.М., Шлыгин В.В., Ахромеев С.В., Малахова А.Н., Гимадова Т.И., Бельских Ю.С., Арчакова Ю.В., Галицкая Л.Н. Радиационно-гигиеническая обстановка в районе размещения хранилищ отходов сублиматного производства АО «АЭХК» // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 1. С. 111-120. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-111-120

Radiation-hygienic situation in the area of sublimate production waste storage of JSC “AECC”

Yuliya N. Zozul¹, Sergey M. Kiselev¹, Vladimir V. Shlygin¹, Sergey V. Akhromeev¹, Anna N. Malakhova¹, Tamara I. Gimadova¹, Yuriy S. Belskikh¹, Yuliya V. Archakova², Lyubov N. Galitskaya²

¹State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

²Center of Hygiene and Epidemiology No. 28 of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Angarsk, Russia

In accordance with the fundamentals of state policy in the field of ensuring nuclear and radiation safety, State Corporation «Rosatom» carries out the remediation of JSC “AECC” nuclear legacy sites. The article presents the results of environmental impact assessment carried out in 2021–2023 in the vicinity of sublimation waste storage facilities that are being decommissioned. Health physics studies involved ambient dose rate measurements, sampling (soil, groundwater) and analysis of radiological and non radiological environmental pollutants. The external gamma dose rate, as well as content of natural and artificial radionuclides in soil, don't exceed background levels. While uranium presence in groundwater is found to be 10 times and higher than background level. The data obtained indicate that the accumulated wastes of sludge sumps (bottom sediments, pulp) come into contact with natural water. Flooded storage facilities form a plume of contamination spreading out in the direction of groundwater flow. Given the current situation optimization of the existing environmental monitoring programs in the JSC “AECC” health protection zone is recommended and reference levels of uranium proposed.

Key words: environmental monitoring, decommissioning, uranium, groundwater, waste, sublimate production

Authors' personal contribution

Zozul Yu.N. – collecting material and analyzing data, writing text;

Kiselev S.M. – concept and design of the study, data collection and analysis, text writing;

Shlygin V.V. – collecting material and processing data, writing text;

Akhromeev S.V. – collection of material and data processing, editing;

Malakhova A.N. – analysis of literary material, carrying out sample measurements;

Gimadova T.I. – carrying out sample measurements, statistical data processing;

Belskikh Yu.S. – carrying out sample measurements;

Archakova Yu.V. – text editing;

Galitskaya L.N. – collecting material, conducting sample measurements.

All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Sources of funding

The study was not sponsored.

Yuliya N. Zozul

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center

Address for correspondence: Zhivopisnaya str., 46, Moscow, 123098, Russia; E-mail: julnik@list.ru

References

1. Shemelina OV. Patterns of uranium migration in low-level radioactive waste storage facilities (using the example of JSC AECC). Speciality 25.00.09. Geochemistry, geochemical methods for searching for minerals. Dissertation for the scientific degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Novosibirsk; 2019. 154 p. (In Russian).
2. Boguslavsky AE, Gaskova OL, Shemelina OV. Migration of uranium in groundwater in the area of sludge storage facilities of the Angarsk electrolysis chemical plant. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya = Chemistry for sustainable development*. 2012;20(5): 515-529. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18226767> (Accessed 10.09.2023). (In Russian).
3. Materials on environmental impact assessment "Decommissioning of the storage facility of facility 310 of JSC AECC". Angarsk; 2014. (In Russian).
4. Working draft for the conservation of sludge settling tanks (structures 311 3-4) of the chemical plant of the Federal State Unitary Enterprise AECC. FSUE NGPII "VNIPIET". Order 0308.A. Inv. No. 92996 pf. Novosibirsk; 2004. (In Russian).
5. Kuzmin MP, Larionov LM, Kuzmina MYu, Grigoriev VG. Industrial use of fluorogypsum, a waste product from hydrofluoric acid production. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = News from universities. Investments. Construction. Real estate*. 2019;9(2): 324–333. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-2-324-333. (In Russian).
6. Environmental safety report of JSC "AECC" for 2020. Angarsk. 2021. 33 p. Available from: <http://www.aecc.ru/attachments/article/1268/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BB.%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%D0%90%D0%AD%D0%A5%D0%9A%202020.pdf> (Accessed 10.09.2023). (In Russian).

Received: October 30, 2023

For correspondence: Yuliya N. Zozul – Ph.D Biological Sciences, Leading Researcher of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia (Zhivopisnaya str., 46, Moscow, 123098, Russia; E-mail: julnik@list.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-1806>

Sergey M. Kiselev – Ph.D Biological Sciences, Head of the Laboratory of Regulatory Supervision of Nuclear Legacy Sites of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2613-2293>

Vladimir V. Shlygin – Junior Researcher of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9557>

Sergey V. Akhromeev – Researcher of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6564-3045>

Anna N. Malakhova – Junior Researcher of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3868-3671>

Tamara I. Gimadova – Senior Researcher of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-2610>

Yuriy S. Belskikh – Researcher of the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6013-6610>

Yuliya V. Archakova – Chief Physician of the Center of Hygiene and Epidemiology No. 28 of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Angarsk, Russia

Lyubov N. Galitskaya – Head of the laboratory – expert chemist of the Center of Hygiene and Epidemiology No. 28 of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Angarsk, Russia

For citation: Zozul Yu.N., Kiselev S.M., Shlygin V.V., Akhromeev S.V., Malakhova A.N., Gimadova T.I., Belskikh Yu.S., Archakova Yu.V., Galitskaya L.N. Radiation-hygienic situation in the area of sublimate production waste storage of JSC "AECC". *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 1. P. 111-120. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-111-120