

## Раздел 1

## ГЕОЛОГИЯ

## Section 1

## GEOLOGY

УДК 550.424.6

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХРАНИЛИЩ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ  
ОТХОДОВ ЧЕПЕЦКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА НА  
ПРИЛЕГАЮЩИЕ УЧАСТКИ**С.М. Софронова<sup>1</sup>, Е.Ю. Ти<sup>1,2</sup>, А.Е. Богуславский<sup>1</sup>, А.В. Сафонов<sup>3</sup>, Г.Д. Артемьев<sup>3</sup><sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск,<sup>2</sup>Новосибирский Государственный Технический Университет, Новосибирск,<sup>3</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва,

E-mail: sonya.sofronova.99@gmail.com, elenati.0101@gmail.com, boguslav@mail.ru,

alexeysafonof@gmail.com, artemyev56@gmail.com

*В работе представлены результаты обследования близлежащих территорий хвостохранилища Чепецкого механического завода г. Глазов. Отобраны пробы воды и грунтов в зоне влияния хранилища жидких радиоактивных отходов (РАО). Установлено, что содержание урана в водах вблизи объекта исследования превышает фоновые значения. Выявлена зависимость концентрации содержания урана в воде от расстояния: надфоновые значения отмечены на расстоянии до 1500 м, далее, по мере удаления от хвостохранилища, происходит снижение концентрации урана до уровня фоновых значений и ниже. Анализ проб грунтов показал, что до 98% урана в зоне влияния хвостохранилища находится в формах, не подверженных выщелачиванию грунтовыми водами.*

*Ключевые слова:* влияние хвостохранилища; радиоактивные отходы; хранилище радиоактивных отходов; уран; загрязнение ураном; миграция урана.

DOI:10.24412/2410-1192-2024-17401

Дата поступления: 19.08.2024. Принята к печати: 16.09.2024

Ликвидация «ядерного наследия» перерабатывались первичные концентраты накопленного при реализации атомного урана с получением в качестве конечного проекта является одной из актуальнейших продукта тетрафторида урана. Отходы задач на многих предприятиях ядерной производства размещались в нескольких отрасли [Радиоэкологическая обстановка, приповерхностных хранилищах, за годы 2021]. Одним из таких предприятий является Чепецкий механический завод эксплуатации которых, было накопле- (ЧМЗ), расположенный в Удмуртской но около 5 млн т радиоактивных отхо- Республике, в г. Глазов. С середины прош- дов, представленных шламами, а также лого века до 2016 года на предприятии мическими элементами, в том числе и

ураном. В приповерхностные хранилища предприятия, наряду с РАО (радиоактивные отходы), поступали отходы и других производств (кальциевого, циркониевого). Также в хранилище попадают сернокислые растворы после дезактивации металлолома, загрязнённого радионуклидами, травления изделий из обедненного урана и т.д. [Семенищев и др., 2023]. Открытые поверхностные хранилища АО «ЧМЗ» располагаются на левом берегу реки Чепца, на расстоянии менее 1000 м к её руслу. Река Чепца является источником воды для населенных пунктов Удмуртии и Кировской области. В непосредственной близости к зоне влияния хвостохранилища находится река Убыть – левый приток реки Чепца.

Формы миграции урана определяются как химическими свойствами соединений урана, так и внешними факторами, такими как температура, давление и прочие условия среды [Водяницкий, 2011; Гудков 2014]. К изменению миграционной способности урана также могут привести абиогенные и биогенные факторы, оказывающие влияние на изменение Eh среды [Romanchuk, 2020]. Например, условия, поддерживающие уран в степени окисления +6, являются благоприятными для миграции урана [Богуславский и др., 2012; Зозуль и др., 2024]. Данные техногенные объекты несут в себе потенциальную экологическую опасность для прилегающих территорий, поскольку под воздействием естественных факторов, могут происходить процессы выщелачивания и выветривания загрязняющих элементов из шламов, что может привести к распространению вредных ве-

ществ грунтовыми водами. В ряде случаев уран может мигрировать во взвешенном состоянии в составе химически устойчивых минералов, в форме сульфатных соединений в сульфатных водах, в виде хлоридов при высоком содержании хлора, в виде ионов уранила, карбонатных и органических комплексов [Гудков, 2014]. Для оценки распространения урана на каждом конкретном участке, необходим комплексный подход к обследованию территорий.

Цель работы – оценка распространения урана на близлежащие природные объекты. Объектом исследования данной работы является хвостохранилище ЧМЗ, а также территории, попадающие под его влияние.

#### *Материалы и методы*

Отбор проб грунтов производился на участке влияния хвостохранилища на глубине около 0–25 см от поверхности земли и в пределах 1.5 километров от хвостохранилища (рис. 1).

Пробы отбирались согласно направлению движения грунтовых вод – с восточной части р. Чепца к Старичному озеру и р. Убыть. Участок, выделенный как зона влияния хвостохранилища, является заболоченным и продолжает подтапливаться за счет воды, поступающей в хвостохранилище. Разграничение участка влияния выполнено на основании космоснимков, по визуальным изменениям, в результате заболачивания, территориям.

Анализ катионного состава водных проб включал масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой ICP MS высокого разрешения ELEMENT FINNIGAN MAT

(погрешность 5%) и атомно эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой ИСП-АЭС (IRIS Advantage) (погрешность 3–5%). Анионный состав был определен титриметрическими методами (погрешность 0.1–1 %). Для определения удельной электропроводимости использовался метод кондуктометрии (погрешность 1%). Значения pH водных проб определялись потенциометрическим методом с помощью электронного pH-метра (погрешность 1%). Eh водных проб измеряли в полевых условиях Eh-метром (погрешность 0.2%). Анализ проб грунтов проводился с использованием рентгено-флуоресцентного метода с использованием

синхротронного излучения РФА-СИ (погрешность 10–30%).

Доля органической части в пробах грунтов оценивалась методом озоления: пробы сушатся при 100–105°C для удаления влаги, что предотвращает вспенивание и потери образца при дальнейшем нагревании. Высушенные пробы постепенно нагреваются до 400–600°C, в муфельной печи [Основы аналитической химии, 2012].

Для определения форм нахождения элементов в грунтах была использована методика ступенчатого выщелачивания, по схеме Клемта, которая является видоизмененным вариантом схемы Тессье [Кузнецов, 1990].

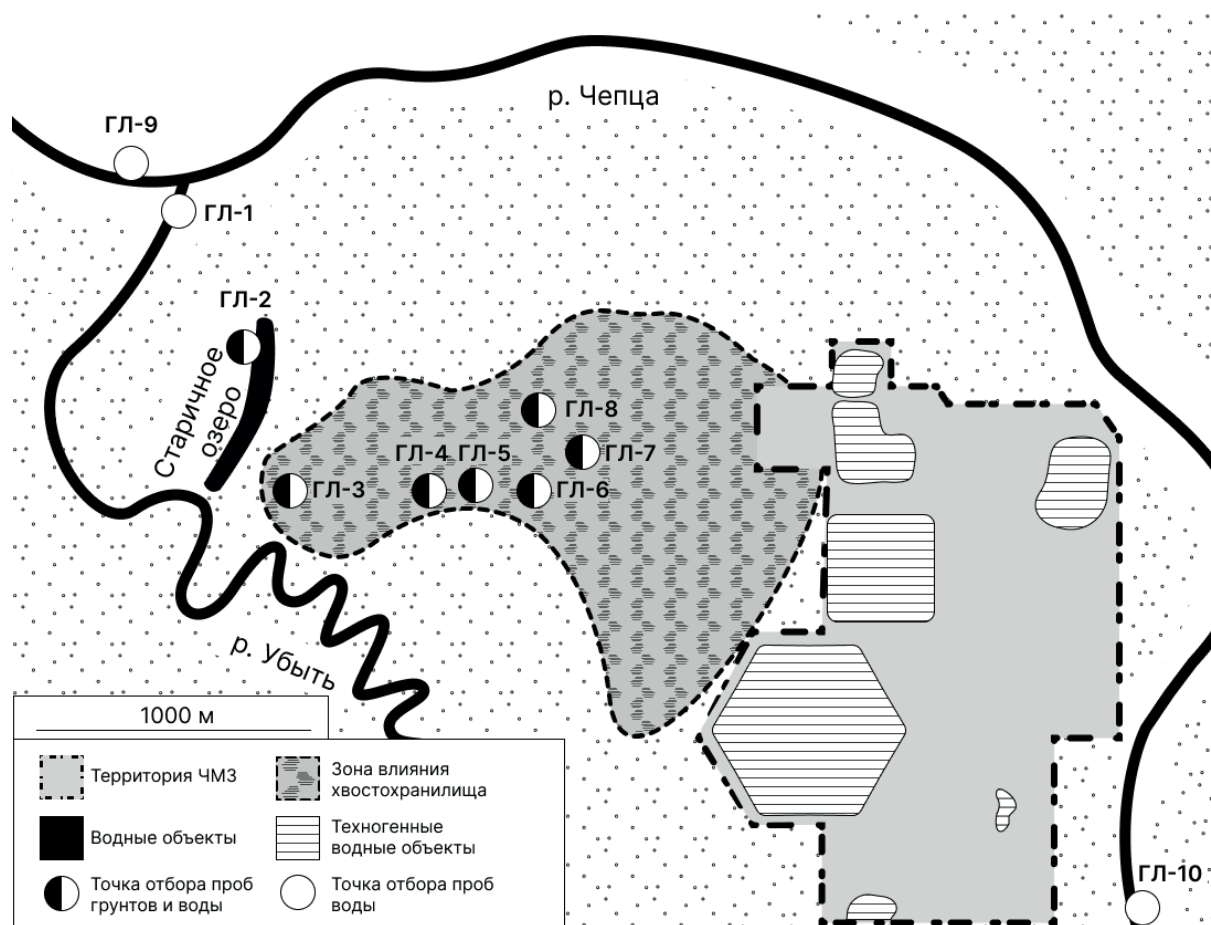


Рис. 1. Схема точек отбора проб

Fig. 1. Scheme of sampling points

Извлечение водорастворимой формы происходит путем вымывания водой ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $t = 1$  ч), ионообменная форма выщелачивается при помощи смеси 1М смеси ацетата аммония (1М  $\text{NH}_4\text{OAc}$ ,  $\text{pH}=7$ ,  $t=1$ ч), карбонатная – 1М ацетата аммония с буферным раствором (1М  $\text{NH}_4\text{OAc}$ ,  $\text{pH}=5$ ,  $t = 5$  ч), уран связанный с оксидами и гидроксидами железа и марганца отделяется смесью 2М гидроксилamina и соляной кислотой (элементы, связанные с оксидами Fe и Mn, 2М  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$  в 25%  $\text{HOAc}$ ,  $\text{pH} 2$ ,  $V = 25$  мл,  $T = 96^\circ\text{C}$ ,  $t = 6$  ч), уран в окисляемой форме – добавлением оксида азота и азотистой кислоты (элементы, связанные с органическим веществом, 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  с добавлением 0.02М  $\text{HNO}_3$  до  $\text{pH} 2$ ,  $V = 20$  мл,  $T = 85^\circ\text{C}$ ,  $t = 24$  ч), остаточную фракцию получают путем кислотного разложения.

### *Результаты и обсуждение*

Предприятия ядерного цикла объединяет единый подход к утилизации хвостов – кислотные растворы с остаточным содержанием урана нейтрализуются гашеной известью [Радиоэкологическая обстановка, 2021]. При этом образуется пульпа, содержащая труднорастворимые уранаты или двойные оксиды кальция и урана, которая передаётся в шламонакопители. В них происходит отстаивание, при этом твердый осадок скапливается на дне отстойников, а осветленная пульпа дренирует в грунтовые воды. Эта схема утилизации используется до настоящего времени как в нашей стране, так и за рубежом [Jan et al.,

2007; Jakimavičiūtė-Maseliene et al., 2016]. На предприятии шлам более чем на 85% состоит из гипса, что обусловлено применением сернокислых растворов. Содержание урана в осадке составляло 0.044 мас.%. На ряде отстойников проведены рекультивационные мероприятия, шламы сверху перекрыты 4-х метровым слоем песка, состоящим из кварца, полевых шпатов, мусковита с примесью цеолитов. На глубине 2 м концентрация урана находится на том же уровне (0.43 мас.%). Наличие повышенного содержания урана в верхнем слое свидетельствует о его миграции из нижних зон при участии почвенных вод [Nalivaiko и др., 2023].

Распределение основных загрязнителей в поверхностных водах показано в таблице. Фоновые воды участка представлены пробой ГЛ-10, отобранной в реке Чепца на расстоянии около 3000 м южнее хвостохранилища. Проба ГЛ-2, отобрана на 2000 м западнее хвостохранилища на Старичном озере. В данном месте происходит разбавление загрязненного потока. Как в точке ГЛ-2, так и в ГЛ-10 воды являются гидрокарбонатными натро-кальциевыми, характеризуются схожей минерализацией 0.43 и 0.46 мСм/см и  $\text{pH} 7.1$  и  $7.8$  соответственно. Влияние хвостохранилища в точке ГЛ-2 отражают только повышенные концентрации ионов хлора, калия и железа.

По результатам анализа проб, основное загрязнение находится на расстоянии 800–1000 м от хранилища (точки ГЛ-3 – ГЛ-8) и характеризуется повышенными значениями УЭП и концентрациями анионов и катионов, в частности, урана.

Таблица

Химический состав проб воды в зоне влияния хранилища

Table

Chemical composition of water samples in the zone of influence of the storage facility

| Параметр                | ГЛ-1  | ГЛ-2 | ГЛ-3 | ГЛ-4 | ГЛ-5  | ГЛ-6  | ГЛ-7  | ГЛ-8 | ГЛ-9  | ГЛ-10 |
|-------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| pH                      | 7.8   | 7.1  | 7.1  | 7.5  | 7.4   | 7.3   | 7.3   | 7.3  | 8     | 7.8   |
| УЭП, мСм/см             | 0.68  | 0.43 | 3.9  | 7.5  | 9.4   | 10.6  | 11.8  | 6.6  | 0.57  | 0.46  |
| Eh, мВ                  | 60    | -20  | -135 | -50  | 122   | 148   | 170   | -80  | 120   | 175   |
| NO <sub>3</sub> , мг/л  | 2.5   | 1.2  | 11.6 | 66   | 1017  | 1543  | 1515  | 24   | 2.2   | 1.0   |
| HCO <sub>3</sub> , мг/л | 214   | 92   | 336  | 458  | 275   | 275   | 305   | 336  | 153   | 183   |
| SO <sub>4</sub> , мг/л  | 12    | 5.4  | 27   | 437  | 658   | 648   | 711   | 398  | 8.9   | 7.2   |
| Cl, мг/л                | 35    | 86.2 | 1280 | 2430 | 2490  | 2580  | 2925  | 2046 | 17.5  | 15.5  |
| Ca, мг/л                | 62    | 36   | 347  | 498  | 664   | 778   | 822   | 412  | 55    | 51    |
| Fe, мг/л                | 0.063 | 1.5  | 111  | 1.3  | 0.182 | 0.266 | 0.287 | 6.9  | 0.04  | 0.040 |
| K, мг/л                 | 7.9   | 15   | 63   | 691  | 866   | 949   | 1058  | 665  | 5.1   | 2.2   |
| Mg, мг/л                | 22    | 7.4  | 51   | 23   | 25    | 25    | 28    | 23   | 19    | 18    |
| Mn, мг/л                | 0.009 | 0.3  | 4.0  | 5.4  | 0.55  | 0.91  | 0.57  | 0.67 | 0.015 | 0.016 |
| Na, мг/л                | 28    | 21   | 209  | 388  | 467   | 517   | 575   | 303  | 25    | 22    |
| S, мг/л                 | 6.8   | 2.2  | 12.9 | 10.4 | 5.1   | 2.2   | 6.9   | 8.5  | 2.9   | 2.5   |
| U ИСП АЭС, мкг/л        | н.о.  | н.о. | н.о. | 267  | 174   | 251   | 215   | 85   | н.о.  | н.о.  |
| U ИСП МС, мкг/л         | 0.83  | 0.26 | 1.8  | 232  | 153   | 237   | 178   | 104  | 4.6   | 1.4   |

Воды в этих точках являются сульфатно-нитратно-хлоридными калий-натровыми. С удалением от хранилища на расстоянии более 2000 м происходит снижение концентраций загрязняющих элементов (рис. 2). Водородный показатель не изменяется сильно и в зоне влияния хранилища составляет около 7, в фоновых точках значение становится ближе к 8. Резкое снижение концентрации урана (ниже фоновых значений) наблюдается в Старичном озере (проба ГЛ-2). Такое низкое содержание урана, вероятно, связано с обособленностью озера от наземных источников (р. Чепца и р. Убыть) и разбавлением водного покрова озера атмосферными осадками.

Пробы воды ГЛ-9 (выше по течению р. Чепца) и ГЛ-10 (ниже по течению

р. Чепца) сходны по химическому составу, различия заключаются только в содержании гидрокарбонатов и урана. Точка ГЛ-9 характеризует интегральное воздействие предприятия, поэтому увеличение концентрации урана в реке Чепца с 1.4 мкг/л до 4.6 мкг/л может быть связана с антропогенным воздействием. Низкие концентрации загрязняющих элементов говорят о незначительном влиянии хвостохранилища на реку Чепца, концентрации элементов в реке не превышают ПДК (предельно-допустимые концентрации) [СанПиН 1.2.3685-21].

Грунты обследованного участка представляют собой болотные и пойменные отложения. Доля органической части в пробах, по данным озонирования находится в интервале от 25% до 66% (среднее 49%).

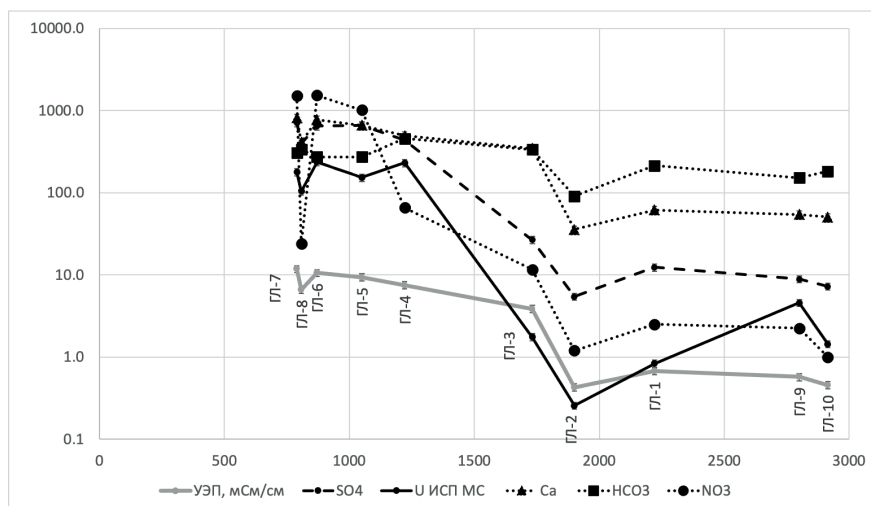


Рис. 2. График изменения концентрации основных катионов и анионов и удельной электропроводимости в зависимости от расстояния от хвостохранилища до точки отбора пробы

Fig. 2. Graph of changes in the concentration of main cations and anions and Aconductivity of water as a function of distance from the tailings dump to the sampling point

Содержание урана в грунтах на участке влияния находится в интервале от 21 до 50.1 мг/кг. Грунты также содержат повышенные концентрации некоторых макро- (К, Са) и микроэлементов (Ti, Mn, Fe). По мере отдаления от хвостохранилища, концентрация урана в грунтах снижается.

Наблюдаемая тенденция концентрации урана к снижению в пробах грунтов и воды, в зоне влияния хвостохранилища (рис. 3), свидетельствует о задержании урана

грунтами в выделенной области влияния хвостохранилища.

Для изучения подвижности урана, было проведено исследование форм нахождения урана в грунтах участка влияния хвостохранилища методом ступенчатого выщелачивания. Результаты анализа проб методом ступенчатого выщелачивания показали, что большая часть урана в отобранных грунтах находится в форме, связанной с органическим веществом (52%).

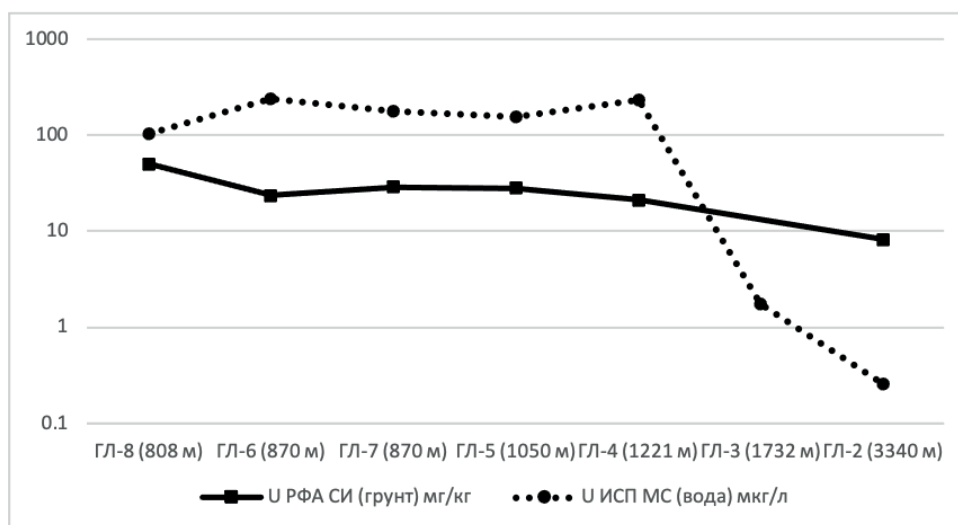


Рис. 3. Соотношение содержания урана в пробах грунтов и воды на участке воздействия хвостохранилища (ГЛ-3...ГЛ-8) и в точке условного фона (ГЛ-2)

Fig. 3. Correlation of uranium content in soil and water samples at the tailings impact site (GL-3...GL-8) and at the conditional background point (GL-2)

Примерно треть урана относится к восстанавливаемой фракции, около 8% относится к остаточной фракции. Перечисленные фракции не подвержены выщелачиванию урана под воздействием грунтовых вод, так как находящийся в составе данных фракций уран сможет перейти в раствор только под действием более сильных реагентов. Таким образом, к миграции под воздействием грунтовых вод способно не более 1.3% урана, относящегося к ионообменной и водорастворимой фракции (рис. 4).

Миграционная способность урана зависит от условий среды. В данном случае происходит связывание урана с окружающим грунтом, что предотвращает дальнейшее его распространение. Грунты участка влияния преимущественно представлены торфами, на 50% состоящими из органического вещества, соответственно, основная масса урана распределяется преимущественно в органической и восстанавливаемой фракциях. Подобные механизмы накопления урана органическим

веществом описаны в работе [Boguslavsky, 2020]. Органическая и восстанавливаемая фракции являются устойчивыми к воздействию поверхностных и грунтовых вод, что делает уран неподвижным в рассматриваемых условиях.

В условиях дефицита материалов, способных иммобилизовать уран, а также под воздействием щелочных вод, распределение урана по фракциям происходит другим образом, происходит угроза миграции урана в окружающую среду. На рассматриваемой в работе [Кангина и др., 2021] водоеме ПО «Маяк» формы нахождения урана в донных осадках являются высокоподвижными. На водорастворимую и ионообменную фракцию приходится до 25% урана, органическую – 5–8%, преобладают карбонатная (25–26%) и связанная с железом и марганцем (24–32%). Донные осадки водоема ПО «Маяк» на 90% представлены неорганическими веществами, поступившими в результате сброса РАО производства.



Рис. 4. Распределение урана по фракциям в грунтовых пробах, %

Fig. 4. Distribution of uranium by fractions in soil samples, %

### *Заключение*

В работе была проведена оценка влияния хвостохранилища ЧМЗ на прилегающие участки. В результате эксплуатации хранилища происходит заболачивание прилегающих территорий на расстояние до 1700 м. Химическое загрязнение в водах фиксируется на удалении до 1000 м от хвостохранилища. С отдалением от хвостохранилища, происходит снижение концентраций загрязняющих элементов как в водных пробах, так и в грунтах.

Существенного влияния хвостохранилища на р. Чепца не выявлено, концентрации урана в реке не превышают ПДК.

Показано, что в зоне влияния хвостохранилища формируются условия, препятствующие миграции урана в окружающую среду за счет высокого содержания органического вещества. Установлено, что под воздействием грунтовых вод перейти в раствор сможет не больше 1.3% урана (ионообменная фракция), состоящего в грунтах.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Conflict of interests.* The authors declare no conflict of interests.

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400237-8). Аналитические исследования выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.*

### *Список литературы*

Богуславский А.Е., Гаськова О.Л., Шемелина О.В. Миграция урана в грунтовых водах района шламохранилищ ангарского электролизного химического комбината // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. №20. С. 515–529.

Водяницкий Ю.Н. Химические аспекты поведения урана в почвах // Почвоведение. 2011. №8. С. 49–66.

Гудков С.В., Черников А.В., Брусков В.И. Химическая и радиационная токсичность соединений урана // Российский химический журнал. 2014. №3. С. 103–110.

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 безопасность при выводе из эксплуатации объектов ядерного наследия. 2024. №1. С. 111–120. doi: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-111-120

Кангина О.А., Кузьменкова Н.В., Рожкова А.К., Пряхин Е.А. Формы нахождения урана в донных осадках в-17 производственного объединения «Маяк» // Вестник Московского Университета. сер. 2. Химия. 2021. №6. С. 494–502.

Кузнецов В.А., Шимко Г.А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях. Минск: Навука і тэхніка, 1990. 88с.

Основы аналитической химии. Т. 2. / Ред. Ю.А. Золотова. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 416 с.

Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» / Ред. И.И. Линге, И.И. Крышева. М., 2021. 555 с.

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Главный государственный санитарный врач российской федерации, 2021. 987 с.

Семенищев В.С., Фомин А.В., Куляшова Е.Н., Скрипченко С.Ю., Титова С.М., Наливайко К.А., Полянский А.И. Радионуклидный состав твердых радиоактивных отходов конверсионного производства // Радиоактивные отходы. 2023. № 3 (24). С. 65–76. doi: 10.25283/2587-9707-2023-3-65-76

Boguslavsky A.E., Gaskova O.L., Naymushina O.S., Popova N.M., Safonov A.V. Environmental monitoring of low-level radioactive waste disposal in electrochemical plant facilities in Zelenogorsk, Russia // Applied Geochemistry. 2020. Vol. 119. P. 1–11. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104598

Jakimavičiūtė-Maseliene V., Mažeika J., Motiejūnas S. Application of vadose zone approach for prediction of radionuclide transfer from near-surface disposal facility // Progress in Nuclear Energy. 2016. Vol. 88. P. 53–57. doi: 10.1016/j.pnucene.2015.11.016

Jan F., Ahmad S., Hasany S., Aslam M. A practical profile of integrated safety assessment of near-surface disposal of radwaste at Pinstech // Journal of radiological protection. 2007. Vol. 27. P. 169–186. doi: 10.1088/0952-4746/27/2/004

Nalivaiko K.A., Skripchenko S.Y., Titova S.M., Semenishchev, V.S. Radioactive wastes from near-surface storage facility of uranium conversion production. // J Radioanal Nucl Chem. 2023. Vol. 332. C. 2499–2512. doi: 10.1007/s10967-023-08912-6.

Romanchuk A.Y., Vlasova I.E., Kalmykov S.N. Speciation of Uranium and Plutonium from Nuclear Legacy Sites to the Environment: A Mini Review // Frontiers in chemistry. 2020. Vol. 8. doi:10.3389/fchem.2020.00630.

### References

Boguslavskii A.E., Gas'kova O.L., Shemelina O.V. Migratsiya urana v gruntovykh vodakh raiona shlamokhranilishch angarskogo ehlektroliznogo khimicheskogo kombinata [Uranium Migration in Groundwater in the Sludge Storage Srea of Angarsk Electrolysis Chemical Plant] // Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya. 2012. No. 20. P. 515–529. (in Russian).

Vodyanitskii Yu.N. Khimicheskie aspekty povedeniya urana v pochvakh [Chemical Aspects of Uranium Behavior in Soil] // Pochvovedenie. 2011. No. 8. P. 49–66. (in Russian).

Gudkov S.V., Chernikov A.V., Bruskov V.I. Khimicheskaya i radiatsionnaya toksichnost' soedinenii urana [Chemical and Radiation Toxicity of Uranium Compounds] // Russian Chemistry Journal. 2014. No.3. P. 103–110. (in Russian).

Zozul' Yu.N., Kiselev S.M., Shlygin V.V., Akhromeev S.V., Malakhova A.N., Gimadova T.I., Bel'skikh Yu.S., Archakova Yu.V., Galitskaya L.N. Radiatsionno-gigienicheskaya

obstanovka v raione razmeshcheniya khranilishch otkhodov sublimatnogo proizvodstva AO «AEHKHK» [Radiation-hygienic Situation in the area AEIP's Sublimate Production Waste Storage Facilities are Located] // *Radiatsionnaya bezopasnost' pri vyvode iz ehkspluatatsii ob"ektov yadernogo naslediya*. 2024. No. 1. P. 111–120. doi: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-111-120. (in Russian).

Kangina O.A., Kuz'menkova N.V., Rozhkova A.K., Pryakhin E.A. Formy nakhozhdeniya urana v donnykh osadkakh v-17 proizvodstvennogo ob"edineniya «Mayak» [Forms of Uranium in Bottom Sediments of Mayak Production Association] // *Vestn. Mosk. Un-ta. ser. 2. Khimiya*. 2021. No. 6. P. 494–502. (in Russian).

Kuznetsov V.A. Shimko G.A. Metod postadiinykh vytyazhek pri geokhimicheskikh issledovaniyakh [Method of Stepwise Extractions in Geochemical Studies]. Minsk: Navuka i tehknika, 1990. 88 p. (in Russian).

Osnovy analiticheskoi khimii [Fundamentals of Analytical Chemistry]. Vol. 2 / Ed. Y.A. Zolotova. M.: Izdatel'skii tsentr «Akademiya», 2012. 416 p. (in Russian).

Radioekologicheskaya obstanovka v regionakh raspolozheniya predpriyatiĭ Gosudarstvennoi korporatsii po atomnoi ehnergii «Rosatom» [Radioecological Situation in the Regions where Rosatom State Atomic Energy Corporation enterprises are located] / Eds I.I. Linge, I.I. Krysheva. Moscow, 2021. 555 p. (in Russian).

SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness to humans from environmental factors. Moscow: Glavnyi gosudarstvennyi sanitarnyi vrach rossiiskoi federatsii [Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation], 2021. 987 p.

Semenishchev V.S., Fomin A.V., Kulyashova E.N., Skripchenko S.Yu., Titova S.M., Nalivaiko K.A., Polyanskii A.I. Radionuklidnyi sostav tverdykh radioaktivnykh otkhodov konversionnogo proizvodstva [Radionuclide Composition of Solid Radioactive Waste from Conversion Production Facilities] // *Radioaktivnye otkhody*. 2023. No. 3 (24). P. 65–76. doi: 10.25283/2587-9707-2023-3-65-76

Boguslavsky A.E., Gaskova O.L., Naymushina O.S., Popova N.M., Safonov A.V. Environmental monitoring of low-level radioactive waste disposal in electrochemical plant facilities in Zelenogorsk, Russia // *Applied Geochemistry*. 2020. Vol. 119. P. 1–11. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104598

Jakimavičiūtė-Masalienė V., Mažeika J., Motiejūnas S. Application of vadose zone approach for prediction of radionuclide transfer from near-surface disposal facility // *Progress in Nuclear Energy*. 2016. Vol. 88. P. 53–57. doi: 10.1016/j.pnucene.2015.11.016

Jan F., Ahmad S., Hasany S., Aslam M. A practical profile of integrated safety assessment of near-surface disposal of radwaste at Pinstech // *Journal of radiological protection*. 2007. Vol. 27. P. 169–186. doi: 10.1088/0952-4746/27/2/004

Nalivaiko K.A., Skripchenko S.Y., Titova S.M., Semenishchev, V.S. Radioactive wastes from near-surface storage facility of uranium conversion production. // *J Radioanal Nucl Chem*.

2023. Vol. 332. C. 2499–2512. doi: 10.1007/s10967-023-08912-6.

Romanchuk A.Y., Vlasova I.E., Kalmykov S.N. Speciation of Uranium and Plutonium from Nuclear Legacy Sites to the Environment: A Mini Review // *Frontiers in chemistry*. 2020. Vol. 8. doi.10.3389/fchem.2020.00630.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE STORAGE FACILITIES OF CHEPETSK MECHANICAL PLANT ON ADJACENT AREAS

S.M. Sofronova<sup>1</sup>, E.Yu. Ti<sup>1,2</sup>, A.E. Boguslavsky<sup>1</sup>, A.V. Safonov<sup>3</sup>, G.D. Artemiev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Science, Novosibirsk,*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk,*

<sup>3</sup>*A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow*

*E-mail: sonya.sofronova.99@gmail.com, elenati.0101@gmail.com, boguslav@mail.ru,*

*alexeysafonov@gmail.com, artemyev56@gmail.com*

*The paper presents the results of the survey of the nearby territories of the tailing dump of the Chepetsk Mechanical Plant in Glazov. Water and soil samples were taken in the zone of influence of liquid radioactive waste (RW) storage. It was found that the uranium content in waters near the research object exceeds background values. The dependence of uranium concentration in water on distance was revealed: above background values were observed at a distance of up to 1500 m, further, as the distance from the tailing dump, uranium concentration decreases to background values and below. Analysis of soil samples showed that up to 98% of uranium in the zone of influence of the tailings dam is in forms not subject to leaching by groundwater.*

**Key words:** tailing pond impact; radioactive waste; radioactive waste storage; uranium; uranium contamination; uranium migration.

*Received August 19, 2024. Accepted: September 16, 2024.*

### *Сведения об авторах*

*Софронова София Михайловна* – инженер Института геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630058, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3. ORCID: 0009-0009-5515-4975. E-mail: sonya.sofronova.99@gmail.com.

*Ти Елена Юрьевна* – инженер Института геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630058, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3. Студент Новосибирского Государственного технического университета, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, д. 20, к. 1. ORCID: 0009-0001-3558-1365. E-mail: elenati.0101@gmail.com.

*Богуславский Анатолий Евгеньевич* – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630058, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3. ORCID: 000-0003-4569-7342.

E-mail: boguslav@mail.ru.

*Сафонов Алексей Владимирович* – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Россия, 119071, Москва, пр. Ленинский, д. 31, к.4. ORCID: 0000-0001-6920-4659. E-mail: alexeysafonof@gmail.com.

*Артемьев Григорий Денисович* – инженер-исследователь Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Россия, 119071, Москва, пр. Ленинский, д. 31, к.4. ORCID: 0000-0001-8018-6287. E-mail: artemyev56@gmail.com.

#### *Information about the authors*

*Sofronova Sofia Mikhailovna* – Engineer, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 3, Akademika Koptyuga Ave., 630058 Novosibirsk, Russia. ORCID: 0009-0009-5515-4975. E-mail: sonya.sofronova.99@gmail.com.

*Ti Elena Yrevna* – Engineer, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 3, Akademika Koptyuga Ave., 630058 Novosibirsk, Russia. Student of Novosibirsk State Technical University 20, k.1 K. Marks Ave. 630073, Novosibirsk, Russia. ORCID: 0009-0001-3558-1365. E-mail: elenati.0101@gmail.com.

*Boguslavskiy Anatoly Evgenyevich* – PhD of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 3, Akademika Koptyuga Ave., 630058, Novosibirsk, Russia. ORCID: 0000-0003-4569-7342. E-mail: boguslav@mail.ru.

*Safonov Alexey Vladimirovich* – PhD of Chemical Sciences, Leading Researcher, A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 31, k.4, Leninskiy prospect, 119071, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-6920-4659. E-mail: alexeysafonof@gmail.com.

*Grigory Denisovich Artemyev* – Research Engineer, A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences. 31, k.4, Leninsky Ave., 119071, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-8018-6287. E-mail: artemyev56@gmail.com.