

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.050.02 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ БОГУСЛАВСКОГО АНАТОЛИЯ ЕВГЕНЬЕВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 14 мая 2024 г. № 02/6

О присуждении **Богуславскому Анатолию Евгеньевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация в «**Поведение урана и сопутствующих элементов в зоне воздействия хранилищ низкоактивных отходов предприятий ядерно-топливного цикла**» по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» принята к защите 30.01.2024 г., протокол № 02/2, диссертационным советом 24.1.050.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук ИГМ СО РАН (630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3), приказ МИНОБРНАУКИ России № 1113/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель: Богуславский Анатолий Евгеньевич, 1975 года рождения, гражданство РФ, окончил в 1999 году с отличием магистратуру геолого-геофизического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по специальности «геология» со специализацией «экологическая геохимия». В 2003 году в диссертационном совете, созданном на базе ИГМ СО РАН, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» на тему «Гипергенное перераспределение естественных радиоактивных элементов в голоцен-современных ландшафтных зонах юга Западно-Сибирской равнины (становление современного радиогеохимического фона в почвенно-элювиальных профилях)». Соискатель работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в лаборатории моделирования эндогенных и техногенных систем (№ 213).

Научный консультант:

Гаськова Ольга Лукинична, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, профессор НГУ.

Официальные оппоненты:

Харитоновна Наталья Александровна, д.г.-м.н. профессор кафедры геологии геологического факультета Московского государственного университета им М.В. Ломоносова

Каулина Татьяна Владимировна, д.г.-м.н. заведующая лабораторией геологии докембрия геологического института Кольского научного центра РАН

Уткин Сергей Сергеевич, д.т.н. заведующий отделением анализа долгосрочных рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), (г. Москва), в своем положительном заключении, подписанном **Новиковым Александром Павловичем**, доктором химических наук, указала, что представленная диссертация является законченным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований и разработок осуществлен значительный прогресс в изучении пунктов хранения низкоактивных отходов предприятий ядерно-топливного цикла. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых по п.7, п.13, п.15, п.16, п.22. Богуславский Анатолий Евгеньевич заслуживает присуждения ему искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Соискателем А.Е. Богуславским заявлены 21 опубликованные с 2003 по 2024 г. по теме диссертации работ в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК:

1. Богуславский А.Е., Ковалев В.П. Перераспределение естественных радиоактивных элементов в голоценовых ландшафтных зонах Приобского плато и Восточной Кулунды // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – Т. 11. – № 6. – С. 893-906. (Проведен анализ полученных автором распределений естественных радиоактивных элементов и сделана оценка выноса урана из фоновых ландшафтов в голоцене).

2. Богуславский А.Е. Динамика накопления урана в донных отложениях озерных котловин Кулундинской равнины // Сибирский экологический журнал. – 2004. – № 1. – С. 119-127. (Проведен анализ полученных автором распределений ЕРАЭ, в озерных котловинах Алтайского края, выявлены закономерности накопления в зависимости от типа засоления).

3. Пузанков Ю.М., Мельгунов С.В., Богуславский А.Е. Интегральное влияние Новосибирского мегаполиса на речной сток естественных радионуклидов // Сибирский экологический журнал. – 2004. – № 1. – С. 81-86. (Проведен отбор и анализ проб на участке воздействия АО НЗХК, рассчитаны уровни загрязнения).

4. Ковалев В.П. Богуславский А.Е. Создание экобезопасных аккумуляций радионуклидов на искусственных геохимических барьерах по моделям формирования природных аномалий // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4, ч.2. – С. 157-162. (Сформу-

лированы и обобщены требования к хранилищам РАО, обоснован подход к их захоронению).

5. Разворотнева Л.И., Богуславский А.Е., Ковалев В.П., Бабушкин А.В. Сорбция урана на геохимических барьерах на основе торфов разного генезиса // Экология промышленного производства. – 2007. – № 3. – С. 33-37 (Проведены полевые работы и лабораторные эксперименты по сорбции урана на разных типах торфов, показаны ведущие функциональные группы).

6. Гаськова О.Л., Богуславский А.Е., Сиротенко Т.Г. Геохимический состав природных вод в районе расположения пункта хранения низкоактивных радиоактивных отходов // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – № 5. – С. 553-563. (Проведено опробование и изучение, в том числе лабораторные эксперименты с водами, на участке размещения шламоотстойников ПО ЭХЗ).

7. Богуславский А.Е., Гаськова О.Л., Шемелина О.В. Миграция урана в грунтовых водах в районах шламохранилищ Ангарского электролизного химического комбината // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 5(20). – С. 515-529. (Определены параметры, контролирующие миграцию урана в техноприродной системе шламоотстойников ЭХЗ).

8. Геохимическая характеристика территории. В кн: Динамика экосистем Новосибирского Академгородка. Богуславский А.Е., Зольников И.Д., Лямина В.А., Сысо А.И. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – С. 44-55. (Проведено изучение закономерностей накопления урана и тяжелых металлов при формировании почвенных профилей фонового участка, определены основные пути миграции урана).

9. Шемелина О.В., Богуславский А.Е., Колмогоров Ю.П. Определение содержания радиоактивных элементов в шламоотстойниках и вмещающих грунтах // Известия РАН. Серия физическая. – 2013. – Т.77. – № 2. – С. 220-223. (Проведен пробоотбор и анализ распределения урана в РАО и подстилающих грунтах АЭХК установлен вынос урана их шламохранилищ).

10. Gaskova O.L., Boguslavsky A.E., Shemelina O.V. Uranium release from contaminated sludge materials and uptake by subsurface sediments: Experimental study and thermodynamic modeling // Applied Geochemistry. – 2015. – V. 55. – 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.12.018> (Проведены эксперименты по выщелачиванию урана из РАО разных типов).

11. Богуславский А.Е., Гаськова О.Л., Шемелина О.В. Геохимическая модель влияния шламохранилищ НРАО на окружающую среду при выводе из эксплуатации // – Радиохимия. – 2016. – Т. 58. – № 3. – С. 279-283. (Влияние шламохранилища НЗХК на вмещающие грунты, грунтовые и поверхностные воды обосновано с помощью натуральных наблюдений в совокупности с данными экспериментального и термодинамического моделирования. Проведена оценка эффективности природных геохимических барьеров, выявлены основные формы переноса урана в водах и накопления в грунтах).

12. Разворотнева Л.И., Богуславский А.Е., Маркович Т.И. Геохимические аспекты экобезопасной консервации жидких радиоактивных отходов // Радиохимия. – 2016. – Т. 58. – № 3. – С. 274-278. (Опубликованы экспериментальные данные по сорбции: Sr, Cs

и U на природных минеральных сорбентах (монтмориллониты, каолиниты и иллиты). Определено влияние pH, солевого состава растворов, удельной поверхности, размера пор на эффективность иммобилизации указанных радионуклидов).

13. Gaskova O., Boguslavsky A., Safonov A. Thermodynamic Modeling of Uranium (VI) Reductive Immobilization in Groundwater of NPCC Sludge Storages (Novosibirsk, Russia) // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. – 2018. – Iss. 6 – P. 181-189. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.611014> (Проведены эксперименты по восстановлению урана посредством деятельности микробиоты).

14. Сафонов А. В., Богуславский А. Е., Болдырев К. А. и др. Биогенные факторы формирования геохимических урановых аномалий в районе шламохранилища Новосибирского завода химконцентратов // *Геохимия*. – 2019. – Т. 64, № 6. – С. 644-650. – DOI 10.31857/S0016-7525646644-650. (Проведены эксперименты по восстановлению урана посредством стимулированной деятельности микробиоты, изучены составы формирующихся твердых фаз).

15. Сафонов А.В., Богуславский А.Е., Болдырев К.А., Гаськова О.Л., Наймушина О.С., Попова Н.М. Геохимическое моделирование поведения урана в подземных водах вблизи шламохранилищ при биоремедиации // *Геохимия*. – 2021. – Т.66. – № 1. – С.63-72. - DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016752521010088> (проведены эксперименты по восстановлению урана посредством микробиоты, изучены составы формирующихся твердых фаз и доказано восстановление урана с образованием малорастворимых соединений).

16. Krupskaya V., Boguslavskiy A., Zakusin S., Shemelina O., Chernov M., Dorzhieva O., Morozov I. The influence of liquid low-radioactive waste repositories on the mineral composition of surrounding soils // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – Iss. 8259. – P. 1-11. <https://doi.org/10.3390/su12198259> (Изучены подстилающие грунты шламоотстойников АЭХК, определена зависимость между минеральными преобразованиями и параметрами высокоминерализованных химических растворов).

17. 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. – Art. 104598 <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104598> (Для шламового хозяйства АЭХК обоснована комплексная модель, включающая как биотические, так и абиотические факторы, выявлены основные процессы, контролирующие миграцию урана).

18. Safonov A.V., Boguslavsky A.E., Gaskova O.L., Boldyrev K.A., Shvartseva O.S., Khvashchevskaya A.A., Popova N.M. Biogeochemical Modelling of Uranium Immobilization and Aquifer Remediation Strategies Near NCCP Sludge Storage Facilities // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11. – Art. 2875. <https://doi.org/10.3390/app11062875> (Поставлены эксперименты на грунтовых водах АО НЗХК с целью определения закономерностей микробной очистки от урана и сопутствующих элементов).

19. Андроханов В.А., Богуславский А.Е., Соколов Д.А., Филонова Ю.О., Ужогова А.А. Почвенно-экологическая оценка рекультивации отвалов угольных месторождений // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2023. – Т. – № 31. – С. 1-12

<https://doi.org/10.15372/KhUR2023433> (Выявлена зависимость миграции ряда элементов от почвообразующего субстрата и состава фоновых вод).

20. Boguslavsky A, Shvartseva O, Popova N, Safonov A. Biogeochemical In Situ Barriers in the Aquifers near Uranium Sludge Storages // *Water*. – 2023. – 15(17). – Art. 3020. <https://doi.org/10.3390/w15173020> (Для 4 комбинатов выделены и охарактеризованы факторы, контролирующие эффективность биоремедиации водоносных горизонтов, загрязненных ураном и сопутствующими элементами.)

21. Shvartseva O., Gaskova O, Yurtaev A., Boguslavsky A. et al. Water–Rock–Organic Matter Interactions in Wetland Ecosystem: Hydrogeochemical Investigation and Computer Modeling // *Water*. – 2024. – Vol. 16:428. <https://doi.org/10.3390/w16030428>

На диссертацию поступило 23 отзыва (все положительные), из них 7 без замечаний, от: 1) директора ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному округу Вина Константина Петровича; 2) д.б.н., главного научного сотрудника отдела почвенных исследований, института биологических проблем криолитозоны СО РАН Собакина Петра Иннокентьевича; 3) д.б.н., главного научного сотрудника Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН Уфимцева Владимира Ивановича; 4) д.х.н., профессора ВАК, профессора Кузбасского гуманитарного-педагогического института ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» Иванова Фёдора Ивановича; 5) к.х.н., ведущего научного сотрудника лаборатории химии технеция ФГБУ науки Института физической химии и электрохимии им А.Н. Фрумкина Российской академии наук Сафонова Алексея Владимировича; 6) д.х.н., члена-корреспондента РАН, заместителя генерального директора по научной работе Федерального исследовательского Кольцовского научного центра Российской академии наук — директора ИХТРЭМС КНЦ РАН Танаева Ивана Гундаровича; 7) д.т.н., профессора кафедры инженерных проблем экологии НГТУ Ларичкина Владимира Викторовича; к.х.н., старшего научного сотрудника, доцента кафедры ИПЭ НГТУ Александрова Виктора Юрьевича; 8) д.г.-м.н., главного научного сотрудника, лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН Борзенко Светланы Владимировны; 9) к.г.-м.н., заведующей лаборатории «Научно-исследовательский информационный центр с музеем нефти» Института химии нефти СО РАН Яценко Ирины Германовны; к.т.н., старшего научного сотрудника лаборатории «Научно-исследовательский информационный центр с музеем нефти» Института химии нефти СО РАН Перемитиной Татьяны Олеговны; 10) д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории радиогелологии и радиоэкологии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН Кочкина Бориса Тимофеевича; 11) д.г.-м.н., профессора отделения геологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Язикова Егора Григорьевича; 12) к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Санкт-Петербургского отделения Института геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева Розова Константина Борисовича; 13) к.б.н., заведующего лабораторией изотопных методов анализа ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федороского» (ФГБУ «ВИМС») Гулынина Александра

Викторовича; 14) д.г.-м.н., доцента по кафедре геоэкологии и геохимии, профессора отделения геологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Таловской Анны Валерьевны; 15) д.б.н., старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией биогеохимии почв, Федерального государственного учреждения науки Института почвоведения и агрохимии СО РАН Сысо Александра Ивановича; 16) д.б.н., директора ИПА СО РАН, Федерального государственного учреждения науки Института почвоведения и агрохимии СО РАН Андроханова Владимира Алексеевича; 17) д.х.н., заведующего лабораторией «Лаборатория химических технологий» химического факультета Томского государственного университета Сачкова Виктора Ивановича; д.х.н., старшего научного сотрудника лаборатории «Лаборатория химической технологии» химического факультета Томского государственного университета Коботаевой Натальи Станиславовны; 18) д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата Института геологии и минералогии СО РАН Солотчиной Эмилии Павловны; 19) д.г.-м.н. академика Академии наук РС(Я), первого заместителя Председателя Западно-Якутского научного центра АН РС(Я), ведущего научного сотрудника ИГАМБ СО РАН (г. Якутск) Толстова Александра Васильевича; 20) д.х.н., доцента, ведущего научного сотрудника Института неорганической химии СО РАН Шуваевой Ольги Васильевны; 21) к.б.н., старшего научного сотрудника лаборатории нефтяной микробиологии Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН Бабич Тамары Николаевны; 22) к.г.-м.н. заведующего лабораторией экологической радиологии Института геодинамики и геологии Яковлева Евгения Юрьевича; 23) к.г.-м.н. ведущего научного сотрудника лаборатории кристаллохимии минералов Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН Крупской Виктории Валерьевны.

В отзывах отмечено, что диссертационная работа является серьёзным научным исследованием, решающим крупную научную проблему, связанную с бесконфликтной иммобилизацией низкоактивных урановых отходов и ремедиацией загрязнений в почвах и водоносных горизонтах. Полученные соискателем результаты признаны мировым сообществом, что подтверждается их опубликованием в высокорейтинговых журналах. Основные защищаемые положения достоверны и обоснованы.

Основные замечания и предложения по диссертации касаются следующего: 1) в тексте диссертации и автореферата имеются многочисленные опечатки и даже пропуски слов (ведущая организация); 2) в автореферате отсутствуют источники, цитируемые в тексте (ведущая организация); 3) на рисунке 63 представлено распределение элементов в частицах разного размера после стимуляции микробного сообщества, каким оно было до микробиологического воздействия? (ведущая организация); 4) в тексте диссертации встречаются повторы. Например, стр. 92 – последний абзац и он же на стр. 93 первый. Но основная проблема – это проблема с пунктуацией. Отсутствие запятых иногда просто затрудняет понимание текста (официальный оппонент Каулина Т.В.); 5) Не все подразделы диссертации внесены в Оглавление. Также резюме лучше было бы

делать в конце каждой главы, а не в конце отдельных разделов, а то на одну главу приходится несколько резюме (официальный оппонент Каулина Т.В); 6) при достаточно большом объёме работы (364 страницы) некоторые разделы диссертации можно было бы не приводить, например, раздел 2 «Перераспределение естественных радиоактивных элементов в природных ландшафтах на юге Западной Сибири». Поскольку эти данные все опубликованы, можно было их в тексте использовать со ссылками (официальный оппонент Каулина Т.В); 7) в главе 3 хорошо бы привести общую карту (геологическую, физико-географическую или с природными ландшафтами) с расположением всех изучаемых объектов (официальный оппонент Каулина Т.В); 8) сравнение с природными урановыми рудопроявлениями кажется не вполне логичным, поскольку в природных рудопроявлениях урановые минералы даже 6-валентного урана находятся в породе и не так доступны для грунтовых и поверхностных вод, как уран в хранилищах РАО. Об этом говорит тот факт, что в природных рудопроявлениях в обнажениях горных пород на поверхности сохраняются и древние (по крайней мере, палеозойские) водные минералы урана (например, в Лицевском урановорудном районе Кольского п-ова); 9) содержание работы более предметно в сравнении с её названием. Три рассмотренных комбината не исчерпывают проблему урансодержащих НАО всех предприятий ЯТЦ Росатома (официальный оппонент Уткин С.С.); 10) в тексте диссертации присутствует небрежность оформления, опечатки («меторитная вода» вместо «метеорная вода»), некоторые рисунки лишены указателей величин (рис. 35, 36) и т.д. (официальный оппонент Уткин С.С.); 11) Радиационные и токсикологические последствия оцениваются путем сравнения доз или концентраций загрязнителей в окружающей среде с соответствующими нормативными пределами. В работе отмечается, что «... Рассмотрение реакции биосферы на протекающие процессы и аномалии выходит за рамки компетенции автора...» При этом было бы полезно иметь интерпретацию полученных данных ближе к той форме, которая используется в моделях миграции (например, в виде потоков рассматриваемых загрязняющих веществ из ближней зоны хранилищ, полей гидравлических напоров грунтовых вод, коэффициентов межфазного распределения форм загрязнителя в грунте и т.п.). Представленные в работе данные являются полезными, но далеко не исчерпывающими параметрами для создания моделей миграции рассматриваемых загрязняющих веществ (официальный оппонент Уткин С.С.); 12) применение термина «равновесные фазы» в тексте автореферата к фазам в контакте с раствором, например, (стр. 30 автореферата) «Согласно расчетам, равновесными с раствором являются следующие твердые фазы: FeOОН, CaCO₃, апатит» не совсем ясно указывает на что – на факт достижения раствором равновесия с ними или на контакт с ними (официальный оппонент Уткин С.С.); 13) формы нахождения урана определены на основе термодинамических моделей. Данные модели весьма чувствительны к полноте исходных данных о химическом и минералогическом составе исходных веществ и продуктов их взаимодействий, в связи с чем реальные формы урана и их соотношения могут значительно отличаться от полученных в упрощенных моделях (официальный оппонент Уткин С.С.); 14) реальная радиационная опасность урана связана в основном с его радиоактивными продуктами распада. Целесообразно в дальнейшем сделать ко-

личественные оценки накопления радионуклидов в хранилищах и ореолах распространения загрязнений (официальный оппонент Уткин С.С.); 15) в работе, по мнению рецензента, недостаточно внимания уделено изучению коллоидных форм урана, перенос которых может происходить существенно быстрее и дальше, чем соединений урана, полученных в термодинамических моделях (официальный оппонент Уткин С.С.); 16) один из рекомендованных в работе методов снижения миграционной способности урана - закачка в хранилища органических соединений типа молочной сыворотки, которая должна служить восстановителем при метаболизме присутствующего в грунте микробного сообщества - требует дополнительной проработки. Такая закачка, при избытке донора электронов органического вещества, сравнительно с акцептором электронов – рассматриваемыми загрязняющими веществами, не переработанной микробиологическим сообществом - может иметь обратный эффект. Так, в общем случае, присутствие органики в ПЗРО обычно строго лимитируется, так как приводит к повышению пределов растворимости индивидуальных фаз радионуклидов за счет комплексообразования с органическими комплексами и снижению сорбции загрязнителей (официальный оппонент Уткин С.С.); 17) Какой код моделирования лучше подходит для решения поставленных задач – код на основе минимизации энергии Гиббса или код на основе расчетов решения системы уравнений с константами равновесия (официальный оппонент Уткин С.С.); 18) для обоснования поставленных задач было бы целесообразно уделить большее внимание рассмотрению изученности проблемы, выявить и обсудить недостаточно изученные аспекты (официальный оппонент Харитонов Н.А.); 19) при рассмотрении геохимических аномалий на участках выветривания месторождения Скалистое в северной части Талановского грабена отмечено локальное увеличение концентрации урана на один – два порядка в речных водах, не связанное с урановыми месторождениями. Следовало проанализировать причины данной ситуации (официальный оппонент Харитонов Н.А.); 20) для изучения иммобилизационных характеристик вмещающих грунтов автором использованы статические и динамические экспериментальные исследования. Целесообразно было бы рассмотреть недостатки и преимущества применяемых подходов и возможности перенесения полученных результатов «на массив». Так, при проведении опытов в динамических условиях возможно получение заниженных сорбционных характеристик, может проявляться кинетика гетерогенных процессов. Кроме того, интерес представляло бы определение теоретической модели, описывающей миграционный процесс в образце (официальный оппонент Харитонов Н.А.); 21) в диссертации целесообразно было бы более подробно рассмотреть основные потенциалзадающие системы. Так, на рассмотренных территориях существенную роль может играть система органических веществ и оказывать существенное влияние на другие потенциалзадающие систем, в том числе систему азота (официальный оппонент Харитонов Н.А.); 22) в заключение диссертационной работы целесообразно было наметить пути дальнейшего развития исследований поведения урана в зоне воздействия хранилищ низкоактивных отходов (официальный оппонент Харитонов Н.А.) 23) применение технологий возможно при наличии положительного заключения государственной экологической экспертизы (Винс К.П.); 24) поверхностные аномалии, выделенные ав-

тором на участках пойменных агроценозов кроме почв и вод, характеризуются биологической компонентой, прирост биомассы которой исчисляется сотнями и тысячами килограмм в год. В работе автором не учитывается перераспределение между почвами, водами и растительностью, хотя такое перераспределение в долгосрочной перспективе может представлять не только научный, но и эколого-санитарный аспект (Уфимцев В.И.); 25) в автореферате представлены геологические разрезы двух из трех рассматриваемых систем, однако по какой-то причине разрез шламоотстойника НЗХК отсутствует. В то же время в тексте диссертации этот разрез представлен (Иванов Ф.И.); 26) в экспериментах по микробиологической очистке грунтовых вод предложено использование молочной сыворотки, однако состав данного субстрата в силу своей природы может изменяться в весьма широких пределах при этом в тексте автореферата отсутствует состав, с которым непосредственно проводилась экспериментальная работа (Иванов Ф.И.); 27) не рассмотрен вопрос о микроорганизмах, содержащихся в сыворотке и их взаимодействии с микробиотой грунтовых вод. (Иванов Ф.И.); 28) можно ли выделить специфическую для объектов зону, где процессы иммобилизации урана наиболее эффективны при участии всех описанных процессов? Какие критерии необходимо учитывать при выборе участка размещения биогеохимического барьера (Тананаев И.Г.); 29) могут ли эти процессы формирования биогеохимического барьера протекать без добавления органических веществ? (Тананаев И.Г.); 30) каким образом будет изменяться соотношение различных групп микроорганизмов после удаления органического вещества и что будет после исчерпания источника углерода? (Тананаев И.Г.); 31) по каким методикам осуществлялся выбор отбора точек проб? (Ларичкин В.В., Александрова В.Ю.); 32) Удачным дополнением результатов была бы оценка возможности хранилищ как техногенных месторождений (Ларичкин В.В., Александрова В.Ю.); 33) сложно воспринимать текст без таблиц (Борзенко С.В.); 34) не понятно, что обозначают разные цвета на рисунке 6 автореферата (Борзенко С.В.); 35) не понятно, что хотел показать диссертант в таблице 3, процессы контролирующие процессы миграции урана или что-то другое» (Борзенко С.В.); 36) нет объяснения, в чём заключается «комплексность» представленной геолого-геохимической модели (Яценко И.Г. и Перемитина Т.О.); 37) обоснованность влияния микробиоты на скорость процессов в термодинамических расчетах. Приведенные закономерности скорее отражают эмпирические наблюдения на изученных объектах (Кочкин Б.Т.); 38) Геохимическую эволюцию законсервированных в хранилищах урансодержащих аномалий, учитывая период естественного распада его изотопов, следовало бы рассматривать с учетом динамики местных ландшафтов и рельефа на долгосрочную перспективу (Кочкин Б.Т.); 39) для изготовления топливных таблеток применяется изотоп урана-235 и на комбинатах этот вопрос технологически решается. Автор в своей работе об изотопном составе урана и возможности нахождения в шламохранилищах не рассматривает. С чем это связано? (Язиков Е.Г.); 40) автор выделяет урановую фазу – уранинит (стр. 19, автореферат). Не понятна природа его нахождения в рудных песках НЗХК? (Язиков Е.Г.); 41) в автореферат было бы уместно добавить рН - Eh диаграммы, которые наглядно бы показали области существования форм урана для каждого из исследуемых объектов (Розов К.Б.); 42) недостаточно прописана

методика проведения сорбционных экспериментов, соотношение твердое - жидкое, рН растворов (Розов К.Б.); 43) в работе не уделено внимания воздушной миграции урана и сопутствующих элементов с пылью в зоне воздействия хранилищ РАО (Сысо А.И.); 44) на участке АЭХК отмечена концентрация урана 31 г/т, которую автор относит к фоновой, насколько эта концентрация соответствует фоновым значениям, есть возможность антропогенного влияния на эти грунты (Сачков В.И. и Коботаева Н.С.); 45) автор предлагает проводить модификацию торфов заболоченной поймы посредством введения с них металлического железа и гуминовых препаратов. Каким образом планируется осуществлять введение реагентов в грунты заболоченной поймы (Сачков В.И. и Коботаева Н.С.); 46) каким образом будет влиять на развитие проектируемых биогеохимических барьеров в водоносных горизонтах сезонные климатические колебания, насколько они значимы для этого типа объектов (Андроханов В.А.); 47) представленная диссертационная работа охватывает весьма широкий круг проблем, касающихся безопасного размещения НАО, в том числе иммобилизацию радиоактивных элементов В этой связи могут ли законсервированные шламохранилища и вмещающие породы рассматриваться в качестве потенциальных техногенных источников уранового сырья (Солотчина Э.П.); 48) к работе имеется замечание, касающееся некоторых шероховатостей второго защищаемого положения и сложной формулировки третьего защищаемого положения. Можно было бы обойтись без излишней подробности и расшифровки методики выполненных автором исследований по стимулированию метаболизма микроорганизмов при биоремедиации загрязненных участков водоносных горизонтов. Смысл положения был бы понятен и при более лаконичной формулировке (Толстов А.В.); 49) в тексте автореферата отсутствует информация о минералах, содержащих уран, которые подверглись переработке, а затем и захоронению (Шуваева О.В.); 50) рассматривался ли в рамках проводимых исследований изотопный состав урана в исследуемых объектах? (Шуваева О.В.); 51) в первом защищаемом положении в числе компонентов, ответственных за образование гидрохимических аномалий в процессе распространения техногенных растворов, упоминаются нитрат-и сульфат-ионы. Связано ли их присутствие с составом исходных минералов урана в данной цепочке? (Шуваева О.В.); 52) на стр.10 отмечается, что катионный состав проб определялся методом ИСП-МС. Однако, метод ИСП-МС позволяет определять содержания элементов, но никак не дифференцировать их химические формы (Шуваева О.В.); 53) в тексте автореферата встречается ряд неудачных терминологических выражений, например, до первых весовых процентов, до первых г/т; методический постулат; методы стандартной химии, и т.п. (Шуваева О.В.); 54) хотелось бы обратить внимание на некорректное в ряде случаев написание названий родов и семейств бактерий (Бабич Т.Л.); 55) уточнить причины наличие флюорита только в одном из трех объектов, и его отсутствие в двух других (Крупская В.В.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Харитоновна Наталья Александровна, Каулина Татьяна Владимировна, Уткин Сергей Сергеевич, являются высококвалифицированными специалистами в области гидрогеохимии и формирования природных и техногенных аномалий, в том числе урана, по проблемам

обращения с отходами производства, в том числе радиоактивными. Оппоненты имеют многочисленные публикации в высокорейтинговых изданиях в области исследования, соответствующей тематике диссертации, и способны объективно оценить данную диссертационную работу.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что направление ее научно-исследовательской деятельности полностью соответствует тематике диссертации, а специалисты могут объективно и аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненным соискателем исследований Впервые выявлены закономерности формирования ореолов радиоактивных загрязнений на участках хранения низкоактивных отходов Ангарского электролизно-химического комбината (АЭХК), Электролизно-химического завода, г. Зеленогорск (ЭХЗ), Новосибирского завода химических концентратов (НЗХК). Суммированы характеристики макро- и микроэлементного состава отходов, измененных вмещающих пород и информация о составе грунтовых и поверхностных вод. Эти данные позволили сформулировать граничные условия исходя из реальной геологической ситуации и построить термодинамические модели миграции урана. Выявлены пути миграции радионуклидов в отстойниках и сформированных на прилегающих участках геохимических аномалиях.

Выявлены механизмы выщелачивания, транспортировки и накопления урана и других загрязняющих элементов. Определены иммобилизационные характеристики пород, в которых размещаются хранилища радиоактивных отходов (РАО). Определены формы нахождения радионуклидов в отстойниках и сформированных на прилегающих участках геохимических аномалиях, проведена оценка устойчивости этих аномалий. Для каждой из изученных систем предложены мероприятия по усилению защитных характеристик сформированных техно-природных систем с использованием инженерных, геохимических и микробиологических подходов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что обобщены и проанализированы процессы миграции и накопления урана на площадках размещения отходов предприятия ядерно-топливного цикла, выявлены закономерности, отличающие процессы формирования природных и техногенных аномалий, а также, представлены новые данные по проведению биоремедиации загрязненных водоносных горизонтов за счет использования метаболических возможностей подземной микрофлоры, путем ее стимулирования закачкой в пласты питательных органических соединений.

Доказаны следующие положения:

1. Впервые для кластера промышленных предприятий ЯТЦ доказано, что в районе шламохранилищ НАО техногенные растворы, распространяясь с подземным и поверхностным стоком, создают гидрогеохимические аномалии ряда компонентов NO_3^- , SO_4^{2-} , урана. В пределах шламохранилищ концентрации NO_3^- , SO_4^{2-} и, в отдельных случаях, Cl^- достигают $n - n \cdot 10$ г/л, а UO_2^{2+} до n мг/л. Деградиацию этих аномалий главным образом обеспечивают разбавление растворов и осаждение урана на вмещающих грунтах.

2. Нагрузка, создаваемая хвостохранилищами на ландшафт, определяется химическим и фазовым составом РАО, геоморфологией участка размещения отходов, литологией вмещающих пород и гидродинамикой грунтовых вод. В зоне влияния хвостохранилищ, по механизму самоорганизующихся геохимических барьеров, формируются геохимические аномалии урана. Он преимущественно аккумулируется глинистой и органической компонентами осадка. Максимальные уровни накопления U (до 0,1 мас.%) зафиксированы в отложениях, богатых органикой. Преобладает рассеянная форма урана, из числа минеральных фаз выявлены гидратированные фосфаты и арсенаты уранила.

3. Стимулирование метаболизма микроорганизмов (сообществ микробиоты) путем введения в загрязненные грунтовые воды органических субстратов (ацетат, молочная сыворотка и др) приводит к активизации комплекса восстановительных реакций. Вследствие этого снижается редокс-потенциал Eh и концентрации нитрат- и сульфат ионов (удаление в форме N_2 и S^{2-}) и происходит восстановление U(VI) до U(IV) с последующим выпадением из раствора малорастворимых фаз (оксидов урана). Биогеохимические барьеры данного типа способны обеспечить эффективную биоремедиацию загрязненных участков водоносных горизонтов.

4. Разработан научно-обоснованный прогноз снижения эмиссии загрязняющих компонентов из шламохранилищ НАО до уровней, сопоставимых с природными геохимическими аномалиями. Комплекс предложенных природоохранных мероприятий, включающий меры по предотвращению подтопления НАО грунтовыми и поверхностными водами, создание инженерных, геохимических или микробиологических барьеров зависит от интенсивности техногенной нагрузки и способности системы к самовосстановлению.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается использованием полученных результатов предприятиями ядерно-топливного цикла. Полученные данные были использованы при проектировании новых объектов (хранилище твердых РАО ЭХЗ); корректировке существующих проектов (хранилище ТРО АЭХК), разработке проектов консервации (1 и 2 секция шламохранилища НЗХК), при разработке и корректировке систем мониторинга отдельных объектов (шламохранилища и хранилище ТРО ЭХЗ; шламовое хозяйство НЗХК). Результаты комплексных исследований будут использоваться для создания качественных и количественных геохимических и термодинамических моделей миграции урана в условиях зоны гипергенеза, а также для оценки безопасности аналогичных пунктов хранения РАО. Результаты представленной работы могут быть использованы при выводе и последующей консервации объектов размещения отходов ядерно-топливного цикла.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в основу исследований легли данные, полученные в ходе натуральных и экспериментальных исследований, полученных при изучении природных и техногенных геохимических аномалий. Комплекс аналитических исследований выполнен на высокоточном оборудовании, прошедшем необходимые юстировки и техобслуживание: на сканирующем элек-

тронном микроскопе MIRA 3 LMU TESCAN Ltd.; Фазовый анализ: спектроскопия КР Horiba JobinYvonLabRAM HR800, Nicolet NXR 9650; рентгенофазовый анализ: диффрактометр XRD-6000, Shimadzu; Терми-ческий анализ: термоанализатор Netzsch STA 449 F5; Химический ана-лиз: энергодисперсионный спектрометр INCA Energy 450 +, волнодис-персионный рентгеновский спектрометр JEOL JXA-8800M, рентгено-флуоресцентный анализ XRF-1800, Shimadzu.

Теоретическая часть работы основана на анализе опубликованных теоретических, экспериментальных и расчетных данных по теме диссертации. На основе этих сведений были построены геолого-геохимические модели миграции урана.

Результаты авторского исследования сопоставлялись с литературными и архивными материалами, данными заводских лабораторий, а также результатами полученные по заказу этих предприятий сторонними организациями, такими как Березовгеология, Гидроспецгеология, ВИМС и другими. Сходимость многолетних выборок, полученных разными лабораториями, имеющими необходимые аккредитации, позволяет высоко оценить достоверность полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в обобщении результатов собственных многолетних исследований, проведенных в лаборатории моделирования эндогенных систем ИГМ СО РАН. Автор непосредственно занимался постановкой задачи исследований, планированием и организацией экспедиционных и экспериментальных работ, обработкой полученных данных и представлением их в печать. Результаты исследований доложены и апробированы на российских и зарубежных конференциях.

На заседании 14 мая 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Богуславскому Анатолию Евгеньевичу учёную степень доктора геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 20 докторов наук по специальности 1.6.4, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 21, «против» - 0, «недействительных бюллетеней» - 0.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН



Н.П. Похиленко

Ученый секретарь диссертационного
совета, д.г.-м.н.

О.Л. Гаськова

15.05.2024 г.