

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сафонова Алексея Владимировича «Биогеохимический *in situ* барьер в загрязненных подземных водах на предприятиях ядерно-топливного цикла», представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки).

Перед автором диссертации стояла цель – разработка научных основ технологии создания биогеохимического барьера *in situ* для очистки подземных вод с комплексным загрязнением компонентами радиоактивных отходов. Действительно, понимание механизмов биогеохимических процессов (в комплексе с гидродинамическими, геохимическими, физико-химическими) имеет важное значение для разработки многофакторных моделей миграции поллютантов в подземных водах.

Для достижения цели, автором сформулированы и решены следующие задачи:

- определены характеристики загрязнений и выявлены наиболее важные факторы, необходимые для формирования биогеохимического барьера в верхних водоносных горизонтах в районе шести предприятий ЯТЦ;
- изучены таксономическое и функциональное разнообразие микробных сообществ подземных вод, выявлены наиболее перспективные физиологические группы микроорганизмов;
- проведены лабораторные и укрупненные натурные эксперименты по подбору оптимальных условий и состава добавок для активации микрофлоры;
- определены доминирующие аутигенные минеральные фазы, формирующие биогеохимический барьер при изменении геохимических и геологических условий;
- оценена эффективность биогеохимических барьеров для снижения риска коллоидного и псевдоколлоидного транспорта радионуклидов и проведена оценка их стабильности при изменении физико-химических условий;
- разработаны практические рекомендации по созданию биогеохимических барьеров *in situ* в различных природно-техногенных условиях на предприятиях ЯТЦ.

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 443 наименований. Объем работы составляет 307 страниц, 113 рисунков и 98 таблиц. По теме диссертации опубликовано 53 печатные работы, из них 37 в журналах, входящих в международные базы данных Web of science и Scopus. Авторские права защищены 4 патентами.

Научная новизна исследований заключается в том, что автором впервые на территории Российской Федерации проведен комплексный микробиологический мониторинг подземных вод верхних водоносных горизонтов в районе урановых шламохранилищ предприятий переработки урановых и полиметаллических руд ОАО



«ЧМЗ», ПАО «НЗХК», АО «АЭХК», АО «ПО «ЭХЗ», хранилища радиоактивных отходов бассейна Б2 и хранилища сублиматного завода АО «СХК». Описана возможность самоочистки подземных вод с высоким уровнем аммонийного и нитратного загрязнения с участием анаммокс бактерий. Были проведены систематические полевые испытания *in situ* биоремедиации подземных вод. На основании лабораторных и полевых исследований выявлены и систематизированы основные геохимические и геологические процессы формирования биогеохимического барьера для комплексных загрязнений, включая восстановленные и окисленные формы азота, сульфаты, U, Pu, Np, Am, Tc, Sr. Впервые была показана роль микробных биопленок в формировании аутигенных минеральных фаз и проведена оценка их стабильности в изменяющихся геохимических условиях. Впервые описана роль микробных процессов в коллоидном и псевдоколлоидном транспорте актинидов.

Результаты работы, полученные в ходе проведенных в диссертационной работе исследований, представляют большую практическую значимость, они являются базой для разработки технологий очистки подземных вод путем создания комплексного биогеохимического барьера, способствующего удалению растворимых макро- и микрокомпонентов отходов.

В качестве замечаний, может быть отмечено следующее:

1. При оценке эффективности использования различных субстратов для биогенно-опосредованного удаления и восстановления урана в растворах оказалось, что смеси, содержащие в составе фосфат приводили к удалению в твердую фазу более 90% урана. В табл. 13 приведены индексы насыщения минеральных фаз в пробах пластовой воды до и после микробной активации, но среди фосфатов только гидроксоапатит, вивианит и др. Уверены ли Вы, что фосфаты именно иона уранила или других ионов урана не образуются? Например, отенит  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{--}12\text{H}_2\text{O}$  имеет чрезвычайно низкую растворимость.

2. На рис. 7 показана эффективность осаждения/восстановления урана в пробах пластовой воды при добавлении различных питательных субстратов. Как Вы исследовали и дифференцировали формы нахождения урана в твердой фазе осадка?

3. Как Вы оцениваете изменение интенсивности процессов микробной деструкции нитрат- и сульфат-ионов при переходе от комнатной температуры при которой проводились лабораторные эксперименты к температуре первого водоносного горизонта, которая как правило, составляет 5 – 8 °С.

Перечисленные замечания имеют частный характер и не относятся к защищаемым положениям.

Представленная работа соответствует требованиям пункта 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова», предъявляемым к докторским диссертациям. Автор диссертации, по мнению рецензентов, заслуживает присуждение степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки).

Гаськова Ольга Лукинична, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
e-mail [gaskova@igm.nsc.ru](mailto:gaskova@igm.nsc.ru) Телефон: 373-05-26 (доб. 239)

Богуславский Анатолий Евгеньевич, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования динамики эндогенных и техногенных систем ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. E-mail: [boguslav@mail.ru](mailto:boguslav@mail.ru) Телефон: 373-05-26 (доб.341)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.  
Адрес организации: Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3 Сайт организации: <https://www.igm.nsc.ru/>

Я, Гаськова Ольга Лукинична, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой Сафонова А.В.

«15» ноя 2025 г.

Я, Богуславский Анатолий Евгеньевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой Сафонова А.В.

«15» ноя 2025 г.

Подпись автора заверяю