

**Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу Богуславского Анатолия Евгеньевича  
«Поведение урана и сопутствующих элементов в зоне воздействия  
хранилищ низкоактивных отходов предприятий ядерно-топливного  
цикла»), представленную на соискание ученой степени доктора геолого-  
минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия,  
кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных  
ископаемых»**

Диссертационная работа Богуславского Анатолия Евгеньевича посвящена разработке комплексной геолого-геохимической модели процессов, протекающих на участках размещения низкоактивных отходов (НАО) предприятий ЯТЦ. Цель создания модели - прогноз последствий длительного взаимодействия шламохранилищ с окружающей средой.

Несомненна актуальность темы диссертации, которая определяется необходимостью безопасного размещения радиоактивных отходов (РАО), генерируемых предприятиями ядерного топливного цикла. Значительные объемы низкоактивных отходов и наличие легко мигрирующего урана обуславливают важность исследования поведения урана в зонах воздействия шламохранилищ данных отходов.

В основу работу положен значительный объем фактического материала, полученный автором в ходе натурных исследований и экспериментальных работ в течение 2000-2023 гг. Достоверность полученных результатов определяется представительностью фактического материала, а также применением современного оборудования и измерительной базы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 364 страницах, содержит 97 рисунков и 80 таблиц. Список использованной литературы включает 476 наименований.

По теме диссертации опубликовано 20 статей в изданиях, рекомендованных ВАК.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации были представлены автором на российских и международных конференциях и семинарах, в том числе: II-V Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» Томск 2004, 2009; Fourteenth International Symposium on Water-Rock Interaction, WRI 14; VIII-IX Российских конференциях по радиохимии "Радиохимия-2015, 2019, 2022"; E3S Web of Conferences. – 2019; SGEM 2017, 2020.

Построение работы в целом представляется достаточно обоснованным, структура работы направлена на решение поставленных задач.

Во *введении* диссертационной работы четко сформулированы цель и основные задачи работы, изложены актуальность проведенных исследований, основные научные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы, приведена информация по использованному фактическому материалу, определен личный вклад автора работы, обоснована

достоверность и обоснованность полученных результатов, научных положений, выводов и рекомендаций.

В первой главе работы «Характеристика современной гипергенной миграции урана на территории ЗС» Богуславским А.Е. рассмотрена миграция урана и его дочерних элементов (радия и тория), в природных и техногенных системах; представлены результаты определения интенсивности миграции радиоактивных элементов в приповерхностных условиях на участках с фоновым содержанием радиоактивных элементов; изложены представления о геохимических аномалиях на участках выветривания урановых месторождений

Автор предлагает подход, предполагающий, что хранилища низкоуровневых отходов уранового ряда сопоставимы с небольшими урановыми месторождениями или рудопроявлениями, и рассматривает геохимические и гидрогеохимические аномалии, сформированные при выветривании рудных месторождений на территории Сибирского региона. Анализируя природные урановые аномалии, Богуславский А.Е. обосновывает вывод о локальном характере геохимического воздействия природных урановых аномалий при разрушении урановых тел процессами гипергенеза и отсутствии протяженных геохимических и гидрогеохимических аномалий.

Далее автором детально рассмотрены вопросы воздействия предприятий ядерно-топливного цикла на окружающую среду, предотвращения бесконтрольной миграции и реабилитации территорий от урановых загрязнений. В заключении главы приводится резюме, в котором обобщены сведения о закономерностях перераспределения урана в гипергенных условиях, гидрохимических и гидрогеохимических аномалиях, формирующихся в условиях приповерхностного разрушения месторождений и рудопроявлений.

Во второй главе «Методика исследования» достаточно подробно освещаются подходы, методы, методики, средства и процедуры организации исследований, используемых при выполнении работы. В начале главы автор обосновывает использование методических подходов, таких как определение содержания химических элементов на всех этапах сформировавшихся техно-природных систем; проведение параллелей между техногенными хранилищами и природными урановыми аномалиями; рассмотрение урана в совокупности с его дочерними элементами.

Достоинством проводимого исследования является определение содержания химических элементов на всех этапах сформировавшихся техно-природных систем: проб РАО и вмещающих хранилища РАО грунтов, контактирующих с ними грунтовых и поверхностных вод, вмещающих пород водоносных горизонтов, почв и донных отложениями участков выхода загрязненных водоносных горизонтов. Богуславским А.Е. достаточно подробно рассмотрены условия опробования и пробоподготовки, используемые методики аналитических исследований вод, твердых проб, микробных сообществ.

Значительный интерес представляет изучение автором иммобилизационных характеристик вмещающих грунтов с применением двух типов экспериментов: динамических и статических, характеристика проведения которых рассмотрена в данной главе. С достаточной степенью детальности

рассмотрены методики изучения форм нахождения урана в грунтах с использованием ступенчатого выщелачивания, лабораторное моделирование биологических процессов, методы обработки информации (термодинамическое и геоинформационное объемное моделирование).

Распределения радиоактивных элементов на участках размещения хранилищ РАО рассматриваются автором в *третьей главе* диссертационной работы. Представлены варианты реализации шламохранилищ, реализованных на разных объектах: Ангарском электролизно-химическом комбинате, электрохимическом заводе ЭХЗ в ЗАТО г. Зеленогорск Рыбинского района Красноярского края, Новосибирском заводе химических концентратов НЗХК.

Автор обстоятельно рассматривает геологические и гидрогеологические условия, фоновое содержание элементов в различных компонентах природной среды, анализирует геохимические и гидрохимические аномалии, выявленные на исследуемых участках, и объясняет причины их формирования.

В *четвертой главе* автор излагает результаты экспериментального моделирования процессов миграции. В начале главы приводятся данные определения минерального состава исследуемых образцов шлама методами рентгенофазового анализа и электронной микроскопии. Описание сопровождается таблицами, фотографиями. Далее представлены результаты экспериментов по выщелачиванию урана, которые проводились в двух режимах: статических – на магнитных мешалках и динамических, в которых имитировался естественный режим протекания подземных вод через отходы и оценивалась интенсивность выноса подвижного урана. На основе экспериментальных данных построена термодинамическая модель выщелачивания для хвостов Ангарского электролизно-химического комбината, а также моделирование было проведено для отходов другого типа – хвостов гидратных кеков НЗХК

При изучении выщелачивание урана из образцов ТРО отходы были детально проанализированы на элементный состав, а также проведены лабораторные работы по изучению форм нахождения в них урана с использованием методики ступенчатого выщелачивания. Для оценки интенсивности урана из этого типа растворов была построена термодинамическая модель контакта грунтовых вод с телом отходов.

В модели продемонстрировано резкое снижение концентраций урана в U-содержащих грунтовых водах при реакции с металлическими РАО, являющимися активным восстановителем U(VI) до U(IV). Сделанные теоретические и экспериментальные модели подтверждаются результатами эмпирических наблюдений. Богуславским А.Е. обоснованы важные выводы, 1 – на участках предположительного контакта грунтовых вод с отходами концентрация урана ниже, чем в фоновых водах, что фиксируется и по валовому содержанию урана, и по отдельным изотопам урана, 2 - в грунтах по разрезу, уран также не фиксируется, то есть загрязнение не выходит за контуры хранилища.

Значительный интерес представляют изложенные в данной главе результаты изучения возможности биоремедиации подземных вод шламохранилищ.

В заключении четвертой главы рассмотрены результаты экспериментального определения параметров, определяющих иммобилизационные характеристики грунтов на площадках ряда объектов. В ходе проведения экспериментов были определены сорбционные параметры отложений, изотермы сорбции, выявлено различие распределения между формами нахождения урана в зависимости от типа преобладающих отложений.

В пятой главе приводятся результаты построения моделей хранилища изученных участках. Формирование геохимических зон рассмотрено для различных звеньев техно-природных систем. Приводятся результаты изучения гидрогеохимической ситуации, определения форм нахождения урана, термодинамического моделирования. Приведены основные характеристики выделенных зон техноприродной системы.

В заключении главы автором рассмотрены направления геохимической эволюции состава растворов и загрязнения грунтов на участках размещения НАО. Выделено два этапа: первый - постепенный выход из отложений свободной воды и постепенная деградация сформированной гидрохимической аномалии, второй - стабильное существование отстойников, при котором происходящие изменения будут связаны с изменением радионуклидного состава и перекристаллизацией отложений.

В заключении диссертационной работы кратко обобщены полученные результаты.

Несомненна научная новизна диссертационной работы. Автором впервые детально охарактеризован макро- и микроэлементный состав низкоуровневых РАО, вмещающих пород и грунтовых вод участков хранения НАО; исследованы механизмы выщелачивания, транспортировки и накопления урана и ряда других элементов; построены термодинамические модели миграции урана; выявлены закономерности формирования ореолов радиоактивных загрязнений на участках хранения НАО и пути миграции радионуклидов в (шламохранилищах) и сформированных на прилегающих участках геохимических аномалиях. Также впервые определены возможные пути очистки грунтовых вод от  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$  активацией микробных сообществ непосредственно в водоносном горизонте и разработаны мероприятия по усилению защитных характеристик техноприродных систем с использованием инженерных, геохимических и микробиологических подходов.

Практическая значимость работы определяется тем, что полученные Богуславским А.Е. данные были использованы при проектировании новых объектов; корректировке существующих проектов, разработке проектов консервации, при разработке и корректировке систем мониторинга отдельных объектов, что определяет высокую практическую значимость работы. Результаты исследований могут успешно использоваться для создания геохимических и термодинамических моделей миграции урана в условиях зоны гипергенеза.

Автореферат адекватно отражает основные разделы и принципиальные выводы диссертации, в опубликованных трудах приведены основные результаты работы.

По работе имеется ряд замечаний.

1. Для обоснования поставленных задач было бы целесообразно уделить большее внимание рассмотрению изученности проблемы, выявить и обсудить недостаточно изученные аспекты.

2. 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.

3. 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.

4. 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.ч. систему азота.

5. В заключение диссертационной работы целесообразно было наметить пути дальнейшего развития исследований поведения урана в зоне воздействия хранилищ низкоактивных отходов.

Отдельные более мелкие замечания редакционного характера (пунктуация, пропуски слов) указаны автору лично.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости работы. Диссертация А.Е.Богуславского представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и содержит новый подход к решению проблемы обеспечения геоэкологической безопасности хранилищ НАО. Диссертационная работы выполнена на современном научном уровне, хорошо изложена. По актуальности темы, научному и практическому значению данная работа, как это следует из всего вышеизложенного, в полной мере отвечает требованиям и соответствует критериям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным п. 9 и п.14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 №1168) а ее автор – Богуславский Анатолий Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических

наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Официальный оппонент:

Профессор кафедры гидрогеологии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова», доцент,

Н.А.Харитонов

доктор геолого-минералогических наук

22.04.2024 год

Контактные данные:  
Тел.: +7 (495) 939-29-70  
e-mail: tchenat@mail.ru



Н.А.Харитонов  
М.Г. Вебер  
канцелярией геологического ф-та

Специальность, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация: 25.00.07 – «Гидрогеология»

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, кафедры гидрогеологии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», <http://www.msu.ru/>