

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор Института геохимии СО РАН им.

А.П. Виноградова

д.г.-м.н.,

А.Б. Перепелов

«26» ноября 2019 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского Отделения Российской Академии наук на диссертационную работу Чугуевского Алексея Викторовича

«ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ И ПОДВИЖНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЙМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ (БЛИЖНЯЯ ЗОНА ВЛИЯНИЯ КРАСНОЯРСКОГО ГХК)»,

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 - геохимия, геохимическая методы поисков полезных ископаемых

Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений. В течение более 30 лет Красноярский Горно-химический комбинат (ГХК, г. Железногорск) был источником радиоактивного загрязнения поймы реки Енисей такими долгоживущими техногенными радионуклидами как  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и изотопы плутония. Несмотря на то, что после остановки двух реакторов, сброс радиоактивных отходов в последние полтора десятилетия существенно сократился, в отстойниках, расположенных на территории комбината и в аллювиальных отложениях поймы (особенно в ближней зоне влияния ГХК) накоплены значительные количества техногенных радионуклидов (РН). Важным вопросом является возможность вовлечения их во вторичную миграцию. Поэтому актуальность диссертационной работы Чугуевского Алексея Викторовича, направленной на оценку возможности вовлечения во вторичную миграцию техногенных радионуклидов, депонированных в аллювиальных отложениях поймы р. Енисей не вызывает сомнений, поскольку все, что связано с радиоактивным

загрязнением окружающей среды исключительно важно для населения, тем более, что многие данные ранее были засекречены и у нас в стране, и за рубежом, да и детальных исследований было не так много.

Цель представленной работы - оценка возможности вовлечения во вторичную миграцию техногенных радионуклидов, депонированных в донных отложениях и периодически затапляемых почвах поймы р. Енисей. Для достижения поставленной цели автором были определены следующие задачи:

1. Выявление основных форм нахождения техногенных радионуклидов в загрязненных донных отложениях и почвах р. Енисей, включая химическую и физическую составляющие.
2. Определение природы и оценка вклад «горячих» частиц в общее загрязнение периодически затапляемых в ближней зоне влияния Красноярского ГХК почв.
3. Оценка вклада наземной растительности, произрастающей на загрязненной территории, в процессы вторичной миграции техногенных радионуклидов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 148 страниц, включая 35 рисунков и 35 таблиц.

**Во введении** сформулированы актуальность исследований, цель, основные задачи, защищаемые положения, научная новизна, практическая значимость работы и показан личный вклад автора.

**В первой главе** дан аналитический обзор по современному состоянию изученности миграционной способности искусственных техногенных радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате деятельности предприятий ядерно-топливного цикла. Значительное внимание уделено рассмотрению современного состояния проблемы, связанной с изучением такой формы нахождения техногенных радионуклидов, как «горячие» частицы.

**Вторая глава** посвящена геолого-геоморфологической и гидрологической характеристике района проведения работ. Описаны пробоотбор, полевая и лабораторная пробоподготовка, применяемые аналитические методы (различные варианты полупроводниковой гамма-

спектрометрии, методики определения форм нахождения техногенных радионуклидов, рентгенофазового анализа и электронной микроскопии). Здесь следует отметить широкий набор современных методик, применяемых автором в работе. Причем используются как натурные методы исследования, так достаточно широко представлены результаты экспериментов, выполненных автором. Аналитические работы выполнены в лабораториях ИГМ ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

**Третья глава** посвящена результатам исследований «горячих» частиц, обнаруженных в ближней зоне влияния Красноярского ГХК (морфология, радиоизотопный и элементный состав). Определяется радиоизотопный состав «горячих» частиц. Проведено исследование их сканирующей электронной микроскопией. В этой главе достаточно убедительно обосновано первое защищаемое положение: «Горячие» частицы являются одной из основных форм нахождения техногенных радионуклидов в загрязненных аллювиальных почвах реки Енисей, на отдельных участках поймы в ближней зоне влияния Красноярского ГХК их распространенность может достигать нескольких сотен частиц на км<sup>2</sup>. По составу гамма-излучающих радионуклидов «горячие» частицы делятся на два основных типа: моноизотопные (<sup>137</sup>Cs либо <sup>60</sup>Co), и полиизотопные (<sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>154</sup>Eu, <sup>60</sup>Co, <sup>241</sup>Am). Отсутствие активационного изотопа <sup>152</sup>Eu, и наличие включений, имеющих урановую матрицу, указывает на их топливное происхождение”.

Существенным выводом этой главы является доказательство того, что продолжается поступление «горячих» частиц в экосистему Енисея на основании их массового появления после сильных паводков 2006-2007 гг. и обнаружения монокобальтовых частиц, которые ранее не обнаруживались. При этом автор ограничивается рассмотрением только изотопа - <sup>137</sup>Cs, но очень детально.

**В четвертой главе** представлен минеральный состав донных отложений, показано содержание в них техногенных радионуклидов и распределение их по химическим фракциям. Описаны лабораторный и натурный эксперименты по растворению «горячих» частиц. Получен ответ на вопрос, вовлекаются ли входящие в состав «горячих» частиц радионуклиды во вторичную миграцию? Ответ на это дает второе защищаемое положение:

“В естественных условиях под воздействием поровых вод происходит постепенное растворение «горячих» частиц, и входящие в их состав радионуклиды могут вовлекаться во вторичную миграцию. Полиизотопные частицы растворяются интенсивнее, чем моноцезиевые – за год в естественных условиях во вмещающую почву выносится до 3,6 и 0,64% исходного количества  $^{137}\text{Cs}$  соответственно. В высокоактивных почвах, загрязненных в результате растворения «горячих» частиц, установлена водорастворимая форма  $^{137}\text{Cs}$ , вынос которой происходит многостадийно”. Наличие водорастворимой формы  $^{137}\text{Cs}$  в аллювиальных отложениях ближней зоны влияния Красноярского ГХК отмечено впервые.

**Пятая глава** посвящена исследованию накопления техногенных радионуклидов растениями береговой зоны в зависимости от гидродинамического режима. Проведена количественная оценка вклада наземной растительности во вторичное перераспределение радионуклидов. Результаты, изложенные в этой главе обосновывают третье защищаемое положение: “Установлено, что из всех техногенных радионуклидов, депонированных в загрязненных аллювиальных почвах реки Енисей, в растениях береговой зоны в значимых количествах накапливается только  $^{137}\text{Cs}$ . После завершения цикла развития растений, при попадании отмерших остатков в водную среду происходит быстрый вынос (до 70% — в первые сутки) накопленного  $^{137}\text{Cs}$  из внутренних клеточных структур растения. Показано, что для модельного участка поймы, расположенного в ближней зоне влияния Красноярского ГХК, ежегодно в повторную миграцию за счет жизнедеятельности наземных растений может вовлекаться от  $3,8 \cdot 10^5$  до  $1,87 \cdot 10^6$  Бк  $^{137}\text{Cs}$ .

**В заключении** кратко изложены основные результаты исследований. Особо следует отметить выделение роли осоки в процессах миграции радионуклидов. Обнаружение короткоживущего изотопа  $^{65}\text{Zn}$  говорит о продолжавшемся на время отбора (2004 г.) поступлении ТРН в экосистему реки Енисей.

**По работе возникает ряд замечаний и вопросов:**

1. На странице 78 приводится методика проведения лабораторного эксперимента по растворению «горячих» частиц в проточном режиме, в котором используются разные колонки по высоте и по объему воды для разных типов частиц, однако ничего не сказано, почему выбраны такие режимы? При изучении растворимости «горячих» частиц автор уделил внимание только радиоизотопу  $^{137}\text{Cs}$ . Учитывая широкий набор радионуклидов, входящих в их состав, а помимо гамма-излучающих  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$  можно говорить и об изотопах плутония, что может быть предметом будущих исследований.
2. На странице 83 сделано заключение, что время, в течение которого моноцезиевая частица подвергается растворению, не оказывает решающего влияния на результат, а для полиизотопных частиц время играет решающую роль. Однако это заключение противоречит представленным в работе результатам. Значения коэффициентов растворения при нахождении частиц в воде в течение 1 года к 11 суткам составляет для моноцезиевых частиц 4,5, а для полиизотопных - 8. Более того, на стр. 87 делается вывод о том, что переход  $^{137}\text{Cs}$  в водный раствор происходит в несколько этапов и зависит от продолжительности нахождения загрязненной почвы в водной среде.
3. На странице 85, таблица 4.3. приведены массовые доли разных фракций, которые на два порядка различаются. Для достоверности результатов при гамма-спектрометрическом определении активности радионуклидов желательно использовать близкие по объему навески. Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Результаты диссертационной работы Чугуевского Алексея Викторовича хорошо апробированы на конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, имеющей большое научное и практическое значение для дальнейшего наблюдения и мониторинга радиоэкологической ситуации в пойме реки Енисей. Научные результаты, полученные в работе, имеют не только региональное, но фундаментальное значение для выяснения механизмов миграции техногенных радионуклидов в природной среде. Содержание работы изложено грамотным, понятным

языком. Защищаемые положения хорошо обоснованы. Автореферат и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации и полностью раскрывают поставленную проблему. Диссертация хорошо оформлена и иллюстрирована рисунками.

В целом, характеризуя диссертационную работу Чугуевского Алексея Викторовича, можно констатировать, что на основании выполненных автором исследований получены существенные результаты, имеющие фундаментальное и прикладное значение для геохимии радионуклидов в природных средах. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения, благодаря применению широкого спектра современных аналитических методик определения радионуклидов и проведению натурных экспериментов.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа **Чугуевского Алексея Викторовича** в полной мере удовлетворяет требованиям положения ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 — геохимия, геохимическая методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв рассмотрен на заседание Ученого Совета ИГХ СО РАН и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации (протокол № 13 от 26 ноября 2019 года)

Главный научный сотрудник  
лаборатории физики  
моноокристаллов ИГХ СО РАН,  
заслуженный деятель науки РФ,  
д.ф.-м.н., профессор

А.И. Непомнящих

Главный научный сотрудник  
лаборатории геохимии  
окружающей среды и физико-  
химического моделирования ИГХ  
СО РАН д.г.н.



Е.В. Безрукова

