

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Кундузбаевой Асии Еркебековны** «Исследование подвижности искусственных радионуклидов в почвах Семипалатинского испытательного полигона при различных условиях формирования радиоактивного загрязнения», представленную в диссертационный совет 24.1.013.01 на базе ФГБНУ «Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии» на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. «Радиобиология»

Актуальность работы. Диссертационная работа Кундузбаевой Асии Еркебековны посвящена одной из актуальных проблем радиобиологии – исследованию подвижности искусственных радионуклидов (ИРН) в почвах с учетом условий формирования загрязнения, физико-химических особенностей изотопов и свойств почв. Исследования проведены на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) – крупнейшего ядерного полигона мира.

Тема диссертации полностью соответствует паспорту заявленной научной специальности – 1.5.1. «Радиобиология», которая включает направление 13 «Радиационная экология: изучение закономерностей поведения радиоактивных веществ в окружающей среде. Последствия ядерных аварий и катастроф, чрезвычайных ситуаций. Принципы и методы радиационного мониторинга. Методы реабилитации и ведения хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях. Миграция радионуклидов». Работа выполнена строго в рамках избранной темы, и соответствует поставленным целям и задачам.

Оценка общей методологии и методик исследований. Работа выполнена с использованием основных принципов методологии исследования импактных территорий: 1) выделены разные источники загрязнения, дана их характеристика; 2) проведено исследование почв на территории объектов СИП и в пределах радиоактивных следов; 3) оценены уровни загрязнения условно фоновых территорий. Основное внимание уделено оценке форм нахождения ИРН в почвах в зависимости от условий формирования загрязнений. Определение подвижности ИРН (форм нахождения) основано на методе последовательного экстрагирования. Количества радионуклидов определяли инструментальными и радиохимическими методами. Выполнен также физико-химический анализ почв. Для обработки данных применяли статистические методы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется большим объемом экспериментальных данных, полученных при исследовании основных объектов СИП, применением современного высокоточного оборудования и апробированных методик. Все выводы и положения, выносимые на защиту, обоснованы и достоверны.

Научная новизна полученных результатов. Впервые по единой методологии получены параметры подвижности ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвенном покрове на основных объектах СИП. Распределение форм нахождения ИРН в почвах обусловлено свойствами радионуклидов и условиями формирования радиоактивного загрязнения (наземные и экскавационные взрывы, радиоактивные водотоки, боевые радиоактивные вещества (БРВ)). Для каждого объекта на территории полигона установлены характерные особенности подвижности радионуклидов.

Впервые установлено закономерное изменение подвижности ^{90}Sr вдоль следов выпадений от ядерных испытаний. На условно фоновых территориях вокруг СИП впервые показано, что параметры подвижности ^{90}Sr можно использовать в качестве дополнительного индикатора локальных следов выпадений от разных наземных ядерных испытаний.

Впервые установлены корреляционные связи количества обменной и кислото-растворимой форм нахождения ^{90}Sr в почвах и накопления его травянистыми растениями, произрастающими на территории СИП.

Значимость выводов и рекомендаций для науки и практики. Полученные данные о формах нахождения ИРН в почвах являются базовыми характеристиками радиоэкологического состояния СИП. Исследования показали, что объекты СИП различаются не только уровнем радиоактивного загрязнения, но и параметрами подвижности ИРН в почве, и это главным образом обусловлено природой радиоактивного загрязнения и физико-химическими свойствами самих изотопов. Выявленные характеристики подвижности радионуклидов в почвах разных объектов СИП предопределяют выбор методов ремедиации почв на разных участках полигона. При исследовании условно фоновых территорий вблизи СИП данные о формах нахождения ^{90}Sr рекомендуется использовать в качестве дополнительного индикатора радиоактивных выпадений от наземных ядерных взрывов.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации. Апробация работы. Автореферат в основном отражает содержание диссертации. По теме диссертации автором опубликовано 37 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых международными базами данных (Web of Science/Scopus). Основные результаты работы были представлены на 9 международных и 12 республиканских научно-практических конференциях с международным участием.
Замечание к автореферату. Прочитав автореферат, невозможно составить представления о реальных уровнях загрязнения почвенного покрова на разных объектах СИП (в Бк/кг), поскольку во всех таблицах и рисунках приведены показатели в относительных единицах: доли разных форм нахождения радионуклидов в %, или коэффициенты накопления. В диссертации данные об удельной активности ИРН в почвах приведены в главах 2, 4 и в Приложениях.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, представлен вклад автора на всех этапах выполнения работы, а также апробация результатов исследования.

Глава 1. Обзор литературы. В этой главе приведен обзор отечественных и зарубежных литературных источников по теме диссертации. Дана характеристика почв как главного депо накопления радионуклидов в экосистемах. Рассмотрены механизмы миграции ИРН в почвах, влияние на эти процессы, с одной стороны, особенностей почв, с другой стороны, физико-химических характеристик радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am). Введено понятие форм нахождения радионуклидов в почвах (подвижности ИРН), представлена степень изученности проблемы в отношении форм нахождения радионуклидов в почвах на разных объектах СИП.

Замечания к главе 1. 1) Рассматривая механизмы миграции радионуклидов желательно учесть воздушный перенос ИРН. На ранних стадиях загрязнения он может играть значительную роль в процессах миграции, которая со временем снижается. Однако в теплое время года в зоне СИП отмечаются пыльные бури. В условиях высокого дефицита влаги, непромывного водного режима радиоактивное загрязнение может долго удерживается в верхних горизонтах почв, поэтому ветровой перенос может влиять на миграцию ИРН длительное время. 2) На стр. 28 упоминается кларк цезия. Эта величина имеет размерность, либо % по массе, либо мг/кг (по Ферсману).

Глава 2. Природно-климатическая и радиоэкологическая характеристика (тип делящегося материала, конструкционно-технические особенности ядерного зарядного устройства, его мощности) В этой главе рассмотрены климатические и почвенные характеристики территории СИП. Для полигона в целом характерен мелкосопочный рельеф, резко континентальный климат и преобладание разных подтипов каштановых и светло-каштановых почв. Подробно описаны особенности радиоактивного загрязнения почв в районах основных объектов СИП: Опытное поле (наземные и воздушные взрывы, включая следы радиоактивных выпадений); Атомное озеро (взрывы экскавационного типа на площадке Шаган); Дегелен (радиоактивно загрязненные водотоки в районе штолен 176 и 177 при подземных испытаниях); площадка «4а» (испытания боевых радиоактивных веществ); глобальные радиоактивные выпадения (условно фоновые участки на периферии зоны СИП). Приведены диапазоны значений удельной активности ИРН (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) в почвах разных объектов СИП.

Глава 3. Материалы и методы исследования. В главе подробно описаны методы отбора почвенных проб, их подготовки к радиохимическим и физико-химическим анализам. Схема последовательного экстрагирования разных форм нахождения ИРН в почвах выстроена согласно апробированным методам.

Определение активности гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am в образцах почвы и почвенных вытяжек проводили на гамма-спектрометрах фирм «Ametek» и «Canberra», оснащенных полупроводниковыми детекторами. Содержание ^{90}Sr в почвах (от 500 Бк/кг) определяли с использованием бета-спектрометра «Прогресс». Образцы с низким содержанием ^{90}Sr анализировали радиохимическим методом со спектрометрическим окончанием по дочернему ^{90}Y . Труднорастворимые радиоактивные частицы подвергали полному кислотному разложению. Содержание изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах определяли радиохимическим способом, который включал: озоление, полное кислотное разложение, радиохимическую очистку, выделение изотопов плутония с помощью анионита АВ 17×8, приготовление тонкослойных спектрометрических образцов. Для контроля выхода использовали изотопную метку ^{242}Pu . Измерения образцов проводили на альфа-спектрометрах фирм «Canberra» и «Ametek». Все работы выполнены в соответствии с аттестованными методическими указаниями.

Исследование физико-химических свойств почв проводили по стандартным методам, включавшим оценку гранулометрического и микроагрегатного состава, содержание органического вещества и карбонатов, актуальную кислотность почв.

Глава 4. Формы нахождения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am в почвах СИП. В начале главы приведена базовая информация о содержании ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am в почвах разных объектов СИП, характеризующая специфику их загрязнения. Наибольшие уровни загрязнения обнаружены в эпицентрах, при этом на участках Опытного поля в изотопной смеси преобладали $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , у Атомного озера – ^{137}Cs , ^{90}Sr , а в местах испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ) превалировал ^{90}Sr . На условно фоновых территориях СИП уровни содержания ИРН были соизмеримы с глобальными выпадениями.

4.1. Анализ форм нахождения ИРН в почвах площадки «Опытное поле» показал, что основное их содержание находится в прочносвязанной форме. Это обусловлено спецификой образования радиоактивных частиц. Особенности загрязнения почв в разных эпицентрах связаны с качеством материалов зарядов и их конструкцией. Аналогичные закономерности были выявлены на участках между эпицентрами.

Изучены следы от наземных испытаний 1951 г. (38 кт) и 1953 г. (термоядерный взрыв 400 кт) на площадке «Опытное поле». Автор выявила изменения с расстоянием подвижности ^{90}Sr . В первом случае возросла доля водорастворимой и обменной форм до 8,6%, а кислоторастворимой до 2,9%. На следе от термоядерного взрыва по данным автора прочнофиксированная форма ^{90}Sr составляла 99,5%.

4.2. В местах проведения экскавационных взрывов ИРН характеризуются относительно низкой подвижностью, однако большей, чем в эпицентрах наземных взрывов. У ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ превалирует прочносвязанная форма, содержание ^{241}Am распределено между двумя формами – прочносвязанной и кислоторастворимой, с преобладанием первой. Вдоль следа параметры подвижности ^{90}Sr возрастают.

4.3. На всех участках, подвергшихся загрязнению глобальными выпадениями, для ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ характерна низкая подвижность в почве, а подвижность ^{90}Sr была очень высока и изменчива. Автор считает, что выявленные особенности позволяют использовать формы нахождения ^{90}Sr в почвах условно фоновых территорий СИП в качестве индикатора радиоактивных выпадений от наземных ядерных испытаний.

4.4. На площадке «Дегелен» почвы подверглись загрязнению радиоактивными водотоками. В районе штольни № 176 обнаружены ^{137}Cs и ^{90}Sr . Для ^{137}Cs была характерна низкая подвижность. Максимальное содержание ^{90}Sr было в обменной форме (53%), кислоторастворимая форма составила 32,4%. В районе штольни № 177 были обнаружены $^{239+240}\text{Pu}$ в прочносвязанной форме (98,1%) и ^{241}Am в прочносвязанной (60,4%) и кислоторастворимой (39,6%) формах. В целом, подвижность ИРН в почвах этого участка, была выше по сравнению с другими объектами.

4.5. На месте испытания боевых радиоактивных веществ (площадка «4а»), обнаружено максимальное содержание ^{90}Sr (до $1,1 \times 10^6$ Бк/ кг) с высокими параметрами подвижности. Это связано с исходными формами радионуклидов в составе БРВ.

4.6. Оценка влияния физико-химических свойств почв на формы нахождения ИРН в почве выявила частные корреляционные связи при попарных сравнениях. Так, на площадке «Опытное поле» обнаружены связи между содержанием в почве водорастворимых солей и кислоторастворимыми формами ^{241}Am . На объекте «Атомное озеро» были значимы связи содержания водорастворимых солей в почве с водорастворимой формой ^{90}Sr . На площадке «Дегелен» выделены достоверные корреляции обменных форм ^{137}Cs с гумусом и ^{90}Sr с обменными основаниями. На условно фоновых территориях достоверных корреляций между формами нахождения ИРН и свойствами почв не определено. Автор объединила данные по всем объектам СИП для выявления корреляционных связей между физико-химическими показателями почв и формами нахождения ИРН. Вывод об отсутствии влияния свойств почв на подвижность ИРН обусловлен тем, что почвы практически одного типа, большая часть участков загрязнена нерастворимыми частицами, в целом материал характеризуется большой неоднородностью.

4.7. Проведена оценка влияния форм нахождения радионуклидов в почвах на накопление их зональными растениями. Показано, что условия формирования радиоактивного загрязнения почв на разных объектах СИП определяют процессы накопления ИРН в травянистых растениях. Минимальные Кн обнаружены в местах наземных испытаний, а максимальные в районах радиоактивных водотоков.

Замечания в главе 4: 1) Проблема глобальных выпадений нуждается в более детальном обсуждении, желательно дать сравнение полученных результатов с данными других источников, описывающих глобальные выпадения в Северном полушарии.

2) Форма представления материала в таблицах (медианы и межквартильный размах, %) неудобна, постоянно приходится обращаться к таблицам в Приложениях. В этих таблицах, к сожалению, много позиций «ниже предела обнаружения». В будущих исследованиях желательно улучшить показатели, например, увеличив навески проб.

3) Автором описан метод расчета долей разных физико-химических форм ИРН в % от суммарного количества. Но во многих таблицах сумма всех форм не соответствует 100%. Когда различия составляют доли процента, это можно понять как результат округления, но в некоторых случаях есть вопросы. Например, в таблице 9 на стр. 93 содержание ^{90}Sr при сложении всех долей дает сумму 122,89%. Как это понимать? Или в табл. 12 на стр. 99, указаны только водорастворимая и обменная формы ^{90}Sr – 78,8%, в остальных

столбцах стоят прочерки. Как вычислили эту долю? Автор не обсуждает эти моменты в тексте.

4) Стр. 91-92. Зафиксировав факт снижения с расстоянием подвижности ^{90}Sr на следе от термоядерного взрыва 1953 г. (до 99.5%), автор рассуждает далее о повышении доли обменной и кислоторастворимой форм ^{90}Sr на этом следе и приводит рис. 12. Эти рассуждения и рисунок противоречат результатам таблиц 6-8 в тексте и Приложениям А-2, В-2. В то же время из внимания выпадает феномен повышения подвижности ^{90}Sr на следе от взрыва 1951 г. Необходима более четкая и непротиворечивая интерпретация данных.

5) Отмечены несоответствия подписей рисунков и их содержания, например, на стр. 111 приведен рис. 18, на котором показаны данные по ^{241}Am , а в подписи фигурирует ^{90}Sr .

6) Ряд замечаний касается статистической обработки данных. Автор иногда делает заключения, но не приводит статистических оценок, без которых данная зависимость не доказана. Например, рис. 12 и 14 о повышении подвижности ^{90}Sr с расстоянием от места взрывов. Еще пример: рис. 18, сделан вывод: «По графику рассеяния можно судить об отсутствии корреляции между показателями». Статистических оценок нет, при этом согласно табл. 18, коэффициенты ранговой корреляции при попарных сравнениях в некоторых случаях были значимы.

Аналогичное замечание на стр. 112. На объекте «Атомное озеро» высоко значимы связи содержания водорастворимых солей в почве и водорастворимой формы ^{90}Sr ($r_s = 0,92$). Однако рис. 19 по этим данным приводит к заключению: «...как видно из графика, достоверность выявленной корреляционной связи весьма сомнительна».

Аналогичное замечание на стр. 113. В табл. 20 выделены при попарных сравнениях достоверные корреляции обменных форм ^{137}Cs с гумусом и ^{90}Sr с обменными основаниями. Сделано заключение: «... корреляционная связь между физико-химическими показателями почв и формами нахождения радионуклидов не выявлена».

Аналогичное замечание на стр. 117. «Из графиков рассеяния (рис. 22) можно судить о том, что высокие значения коэффициентов корреляции, рассчитанные для данных о содержании водорастворимой формы ^{90}Sr и накоплением его шиповником и волоснецом ... не являются достоверными». Явное противоречие статистической оценке. Возможно, подобные несоответствия связаны с неправомерным применением статистического метода. Было бы полезно использовать корреляционно-регрессионный анализ, применив линейные или нелинейные уравнения. Попытка была сделана автором на рис. 22.

7) В тексте диссертации много опечаток и неудачных выражений, приводить их все нецелесообразно, однако нужны примеры: стр. 17 «...почвам свойственна буферность – способностью препятствовать своим свойствам». Стр. 53 вместо года, «ягода». Стр.60 «в пределах гарницы СИП...». Стр. 80 «Гарнулометрический состав...». Стр. 9 автореферата «Почвенные вытяжки ходили на предварительную подготовку».

Замечания, сделанные в отзыве, не умаляют значимости работы и не отражаются на выводах и основных положениях, выносимых на защиту.

Глава 5 Сравнительный анализ и практическое применение результатов исследования. В главе представлен сравнительный анализ форм нахождения ИРН в почвах на разных объектах СИП. Наименьшей подвижностью радионуклидов характеризуются объекты, подвергшиеся загрязнению от наземных и экскавационных испытаний. На участках, загрязненных глобальными выпадениями, радиоактивными водотоками и радиоактивными веществами, подвижность ИРН заметно увеличивается. Из всего ряда ИРН наибольшей подвижностью отличается ^{90}Sr . На основании данных о подвижности ИРН, автором предложены различные способы ремедиации объектов СИП. Из-за большого количества факторов, влияющих на результат ремедиации почвы, оптимальное решение в каждом конкретном случае должно приниматься индивидуально.

Заключение. В этом разделе автор подводит итоги проделанной работы, оценивая значение полученных результатов. **Выводы** соответствуют представленным данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация **Кундузбаевой Асии Еркебековны** на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1 Радиобиология является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании полученных автором результатов изложены новые научно обоснованные данные, имеющие существенное значение для развития радиозологии и радиобиологии, в частности, для оценки и прогнозирования радиозологической ситуации на крупнейшем в мире Семипалатинской испытательном полигоне.

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней, а ее автор Кундузбаева Асия Еркебековна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1 Радиобиология.

Оппонент: Позолотина Вера Николаевна
доктор биологических наук (специальность 03.02.08 – экология), с.н.с.,
зав. лабораторией популяционной радиобиологии,
Институт экологии растений и животных УрО РАН
Адрес: 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202
Тел. (343) 210-38-58 доб. 118
E-mail: pozolotina@ipae.uran.ru
Сайт https://ipae.uran.ru/Pozolotina_VN
22 мая 2023 г.

Городилова Юлия Владимирована, к.б.н.
ученый секретарь Институт экологии растений и животных УрО РАН,
Подпись оппонента Позолотиной В.Н. заверяю

