

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора ИБРАЭ РАН
О.В. Цапулина
августа 2025 г.



ОТЗЫВ

Ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук
(ИБРАЭ РАН)
на диссертационную работу Айдархановой Альмиры Курмановны

**Исследование уровней и характера распределения радионуклидного загрязнения в
поверхностных водных объектах (водоемах) территории Семипалатинского
испытательного полигона, представленную на соискание ученой степени кандидата
биологических наук по специальности 1.5.1 – Радиобиология**

Диссертационная работа Айдархановой Альмиры Курмановны посвящена анализу результатов многолетних исследований по содержанию радиоактивных веществ в поверхностных водоемах искусственного и природного происхождения, расположенных на территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП).

Актуальность избранной темы исследования

Тема диссертационной работы характеризуется высокой актуальностью поскольку быстро растущее загрязнение водных ресурсов техногенными веществами становится глобальной проблемой. Необходимость долгосрочного прогнозирования радиозоэкологического состояния лентических экосистем в этой связи представляет высокий интерес, т.к. для этих поверхностных водоемов характерны наибольшие значения концентраций накопленных загрязняющих веществ. Получение натуральных данных по параметрам миграции долгоживущих радионуклидов в таких водоемах в зависимости от происхождения водоема, его морфометрических и физико-химических параметров а также концентраций радионуклидов в растительной биоте вносит существенный вклад в понимание поведения таких важных в радиозоэкологическом отношении элементов, как плутоний и америций и позволяет надежнее обосновывать долгосрочную безопасность, как существующих объектов использования атомной энергии, так и вновь создаваемых.

Количественные оценки воздействия изучаемых радиоактивных веществ на растительные сообщества водных объектов и прибрежных территорий является важной завершающей частью проведенного автором анализа. Они позволяют измеряемые физико-химические параметры трансформировать в категории опасности и безопасности и на этой основе разрабатывать практические рекомендации в области охраны окружающей среды.

Тема диссертационной работы А.К. Айдархановой соответствует паспорту специальности 1.5.1 «Радиобиология».

Цель работы обозначена диссертантом как: определение уровней радионуклидного загрязнения компонентов водоемов территории СИП, получение информации о параметрах перераспределения техногенных радионуклидов в системе «донные отложения/почва - вода - растения» для водных объектов территории СИП. И, можно добавить, оценка уровней радиационного воздействия на характерные для рассматриваемых водоемов растительные сообщества.

Значимость результатов работы для науки и производства

В диссертационном исследовании Айдархановой Альмирой Курмановной выполнена классификация поверхностных водоемов по их происхождению: естественные и техногенные, которые в свою очередь подразделяются на типы в зависимости от использованной технологии проведения ядерных испытаний и соответственно от тех задач, которые решались при этих исследовательских испытаниях.

Пополнен научный багаж миграционных параметров таких элементов как стронций, цезий, плутоний и америций для характерных ландшафтных особенностей северного Казахстана. Полученные автором коэффициенты распределения K_p для системы «донные отложения – вода» заметно варьируются в зависимости от происхождения техногенного водоема, что в значительной степени обуславливается такими определяющими физико-химическое состояние радионуклидов факторами как: рН, минерализация, содержание и соотношение макрокомпонентов в водной среде, наличие растворенного органического вещества. Зависимости для K_p от перечисленных факторов представлены в диссертации.

Коэффициенты накопления радиоактивных веществ в растительных популяциях K_n и K_{ns-b} , полученные автором в зависимости от типа водоема (согласно предложенной автором классификации) и вида растительности, крайне важны для решения многих практических задач по обоснованию радиационной безопасности, поскольку являются важным звеном во многих пищевых цепочках, связанных с водопользованием.

Оценки дозовых нагрузок на растения выполнены в соответствии с рекомендациями МКРЗ и Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Достоверность и новизна выводов и результатов работы

Достоверность представленных в работе результатов многолетних исследований подтверждается тем обстоятельством, что, для формулировки выводов и заключений Айдархановой Альмирой Курмановной обработан с применением современных средств статистического анализа большой объем экспериментальных данных. Измерения удельных активностей в пробах внешней среды выполнены в соответствии с действующими методиками или в отдельных случаях по методикам разработанным автором.

Общая характеристика работы

По структуре рукопись диссертации содержит введение, пять глав, выводы, список литературы из 348 наименований, три приложения. Объем работы составляет 187 страниц, материалы исследования приводятся в 30 таблицах в основном тексте и 44 таблицах в приложениях и проиллюстрированы 25 рисунками.

Всего на территории СИП исследовано 20 объектов техногенного происхождения и 59 естественных водоемов. За время исследований всего отобрано и проанализировано 945 проб водных экосистем различного происхождения.

Раздел диссертации «Введение» отражает актуальность темы исследования, степень ее разработанности, четко сформулированные цели и задачи работы, научную новизну, научно-практическую значимость, основные положения выносимые на защиту, описания

методологии исследования, апробации работы и личного вклада автора, число публикаций по результатам исследования, положения о достоверности научных результатов и соответствии диссертации паспорту научной специальности, краткое описание структуры и объема рукописи.

В Главе I, содержащей обзор литературы, проанализирована история и основные направления исследований, связанные с поверхностными водоемами, которые подверглись радиоактивному загрязнению в период использования человеком атомной энергии.

В диссертации подчеркнута роль, которую в радиоэкологических исследованиях играет изучение распределения радионуклидов по основным компонентам водных экосистем. Отмечено, что высшие водные растения (ВВР), занимающие в водоемах значительные площади, являются доминирующим по биомассе компонентом экосистемы, способным активно аккумулировать радионуклиды, и в ряде случаев могут играть важную роль в процессах перераспределения радиоактивных элементов по компонентам водоема. Приведена классификация ВВР. Часть обзора посвящена исследованиям, в которых проводились оценки уровней радиационного воздействия на водную биоту в различных аварийных ситуациях.

В Главе II рассмотрен методологический подход к изучению радиационного состояния водных экосистем. Для проведения исследований поверхностных водоемов территории СИП в диссертационной работе был разработан новый методологический подход на основе видов проведенных испытаний, механизмов формирования радиоактивного загрязнения и расположения водоемов. Выделено 2 основных механизма загрязнения водоемов территории СИП. Первый механизм, характерный для водоемов техногенного происхождения СИП – когда в первую очередь загрязнен грунт в результате проведения ядерных испытаний, затем образовавшиеся воронки заполнялись водой. В этом случае основным механизмом загрязнения вод является вымывание (выщелачивание) радионуклидов из прибрежного грунта и донных отложений. Второй – когда в природных озерах техногенные радионуклиды в результате глобальных и/или локальных выпадений первоначально поступают в воду, а затем происходит аккумуляция в донных отложениях и последующее перераспределение между основными компонентами водной экосистемы.

Гидрогеологические условия территории СИП типичны для территорий центрально-казахстанского мелкосопочника. Малое количество атмосферных осадков формируют ограниченное количество естественных водных ресурсов, как поверхностных, так и подземных. Территория полигона входит в состав гидрогеологической системы левобережья реки Иртыш, где главным направлением движения подземных вод является северо-восточное, а областью разгрузки подземных вод является Иртыш. Поверхностные воды территории СИП представлены незначительными лотическими (водотоки, текущие воды – родники, ручьи, реки) и лентическими (водоемы, стоячие воды – озера) экосистемами. Автор проводит классификацию исследуемых водоемов по их происхождению, отмечая при этом, что природные озера обладают повешенной соленостью с обширной галофитной растительностью. В большинстве случаев эти водоемы имеют высокую степень минерализации (от 10 до 130 г/дм³), являются замкнутыми – не имеют ни притоков, ни оттоков, не связаны с подземными водами, часть из них пересыхает к середине лета.

На водных объектах техногенного происхождения (воронках) в большинстве случаев весь берег и часть водного пространства занимает монодоминантное сообщество тростника (*Phragmites australis*) с проективным покрытием 100%. На некоторых водных объектах к тростниковому сообществу примыкает сообщество рогоза (*Typha angustifolia*), с участием клубнекамышы (*Bolboschoenus maritimus*) и камыша (*Schoenoplectus lacustris*). На некоторых водных объектах встречается водная растительность, которая представлена рдестовым сообществом (*Potamogeton perfoliatus*) или валлиснериево-рдестовым (*Potamogeton perfoliatus*, *P. pectinatus*, *Vallisneria vulgaris*) сообществом.

Таким образом, видно, что водная растительность рассматриваемых водоемов чувствительна, по меньшей мере, к степени минерализации воды.

Другим различием между природными и техногенными водоемами являлись уровни содержания радиоактивных веществ в исследуемых природных субстанциях.

В этой главе подробно рассмотрена методическая часть измерений, автором разработана методика подготовки проб для определения низких концентраций радионуклидов ^{241}Am в воде.

В Главе III (техногенные водоемы) и Главе IV (природные водоемы) выполнена оценка характера и мощности радиоактивного загрязнения водоемов на СИПе.

Получены количественные оценки коэффициентов распределения (K_p) для радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ для различных типов водоемов, а также одно значение для ^{241}Am .

Получены значения коэффициентов накопления (K_H) для радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ для водных и воздушно-водных растений, обитающих в разных типах водоемов. А также получены значения коэффициентов накопления (K_{Hs-b}) для водных и воздушно-водных растений в системе «донные отложения – растения» и для прибрежных растений в системе «почва – растения» для радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$.

В Главе V выполнен сравнительный анализ распределения радионуклидного загрязнения водоемов территории СИП и оценка дозовых нагрузок на растения.

Наибольший интерес в диссертационной работе представляют материалы, в которых проведен сравнительный анализ влияния физико-химических факторов на параметры перехода для системы «донные отложения – вода – растения». Автором рассчитаны коэффициенты корреляции коэффициентов накопления и коэффициентов распределения радионуклидов с различными параметрами. Однако, не указана статистическая значимость и метод расчета коэффициентов корреляции.

В этой же главе выполнена оценка дозовых нагрузок на растения водоемов территории СИП.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по диссертации

Выполненные Айдархановой Альмирой Курмановной исследования совместно с исследованиями, опубликованными в работе¹ внесли ощутимый вклад в формирование энциклопедии СИП по содержанию радиоактивных веществ техногенного происхождения в водных объектах. Полученные автором результаты позволяют говорить о возможности оценок долгосрочного локального радиационного воздействия при использовании различных взрывных ядерных технологий, возможности которых до настоящего времени далеко не раскрыты. Кроме того, полученные во многом уникальные результаты позволяют совершенствовать прогнозирование эволюции ряда радиационных параметров в водных экосистемах.

Для ^{241}Am было получено единственное значение K_p равное $1,2 \cdot 10^7$ л/кг, которое выходит за рамки интервала, представленного в документе МАГАТЭ № 472² - (от $6,9 \times 10^3$ до $2,0 \times 10^6$ л/кг), и автор находит этому логичное объяснение.

¹ Комплексное радиоэкологическое обследование Семипалатинского испытательного полигона: монография / Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханова, В.А. Витюк и др. – Курчатов: Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, 2021.

² Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Technical Reports Series No. 472, IAEA, Vienna, 2010.

Коэффициент распределения K_P $^{239+240}\text{Pu}$ и K_P ^{137}Cs для водоемов техногенного происхождения на 2 порядка выше, чем для природных озер, но для ^{90}Sr – K_P ^{90}Sr находится на одном уровне как для водоемов техногенного происхождения, так и для природных озер.

Для водоемов техногенного и природного происхождения для системы «вода – растения» K_H $^{239+240}\text{Pu} > K_H$ ^{90}Sr как для водных, так и для воздушно-водных растений. При этом K_H $^{239+240}\text{Pu}$ и K_H ^{90}Sr для воздушно-водных растений находятся на одном уровне ($n \times 10^2$ и $n \times 10^1$, соответственно) как для водоемов техногенного происхождения, так и для природных озер.

Обращает на себя внимание тот факт, что в ряде случаев для ^{90}Sr (для разных групп растений водоемов всех типов) и ^{137}Cs (водных растений водоемов типа II) получены $K_{Hs-b} > 1$, говорит о том, что растения, благодаря своей накопительной способности, могут содержать техногенные радионуклиды в количествах, превышающих их удельную активность в донных отложениях.

Оценка дозовых нагрузок на растения водоемов территории СИП, выполненная автором, показала, что максимальная суммарная мощность дозы облучения может составлять 0,08 мГр/сут для прибрежных растений водоемов техногенного происхождения.

Личный вклад диссертанта в исследование не вызывает сомнения и подтверждается участием в постановке цели и задач, его непосредственным выполнением работ по организации исследований, сбору, систематизации и анализу данных контроля загрязнения водных экосистем техногенными радионуклидами.

Положения, выносимые на защиту, в полной мере соответствуют поставленной цели и решённых для её достижения задач.

Вопросы и замечания:

1. Одним из важных элементов диссертации является понятие коэффициентов распределения. В работе приведены два определения этого термина, но осталось непонятным какое из них использовалось в диссертации.
2. В методологии исследования уровней загрязнения донных отложений и почв отсутствует важный элемент – площадь, с которой отобрана проба. По этой причине отсутствует площадная характеристика содержания нуклидов Бк/м² и, соответственно, нет возможности оценить запас радионуклидов в донных отложениях.
3. На рис.5.8 содержание органического вещества в донных отложениях водоемов техногенного и природного происхождения на трех картинках выражено в мг/л, а на одном в мг/г. Что правильно?
4. Исходя из п.3 и п.4 вывод «полученные значения $K_P \ll 1$, что свидетельствует о том, что большая часть исследуемых радионуклидов в системе «донные отложения – вода» сосредоточена в донных отложениях...» является спорным. Малое содержание нуклидов в воде, но большие объемы водной массы могут значительно превосходить существенную активность в донных отложениях, но малый слой загрязнения. Особенно такую картину можно наблюдать для неравновесного состояния радионуклидов в водоеме.

Ряд утверждений не корректен или вызывает сомнение:

1. «в районе которого расположены Ростовская АЭС [41, 42] и Волгодонская АЭС [43],». Это одна и та же АЭС.
2. Не очень корректен и термин «переход в воду». Это что, доля радионуклида в донных отложениях, перешедшая за единицу времени в толщу воды? Если так, то с ростом коэффициента распределения «переход» должен снижаться, а для Cs и Pu обратное соотношение. Полагаем, что следует отказаться от термина «переход в воду» и использовать просто термин «коэффициент распределения».

Организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

Руководитель организации: Директор ИБРАЭ РАН д.ф-м.н. Матвеев Леонид Владимирович

Почтовый адрес: Россия, 115191, г. Москва, Большая Тульская ул., д. 52.

Тел.: +7 495 955-22-86; +7 495 958-11-51 (факс)

адрес электронной почты: pbl@ibrae.ac.ru

www-страница: <http://www.ibrae.ac.ru>