

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Республиканское государственное предприятие
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
(Филиал «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК»)

УДК 504.4. 054:539.16

Тлеуканов Ержан Нурланович

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ
ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР
молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан**

(прикладные исследования)

Руководитель: Айдарханова А.К.,
начальник лаборатории ЭИМП ОРСМОС

г. Курчатов, 2020 г.

АВТОР

Тлеуканов Ержан Нурланович

Техник 1 категории лаборатории экспериментальных исследований механизмов переноса
Филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК»,


1995 года рождения,

Образование высшее (Государственный университет имени Шакарима г. Семей в 2018 г.),
специальность – экология, квалификация по диплому – эколог

работает в филиале «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК» с 2017 г.,
общий стаж работы 2,5 года.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Техник 1 категории лаборатории
экспериментальных исследований
механизмов переноса ОРСМОС



Е.Н. Тлеуканов

Начальник лаборатории
экспериментальных исследований
механизмов переноса ОРСМОС



А.К. Айдарханова

ТЛЕУКАНОВ Е.Н.

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ
ОБЪЕКТАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан
от Филиала «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК»

071100, г. Курчатов, ул. Бейбіт Атом, 2,
тел. (7-722-51)3-34-13
факс (7-722-51)3-28-06
E-mail: Tleukanov@nnc.kz

РЕФЕРАТ

Конкурсная работа содержит 16 страниц, 2 иллюстрации, 6 таблиц, 10 источников.

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ,
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКАЯ ОБЛАСТЬ**

Объект исследования: водные объекты территории Восточно-Казахстанской области (р. Иртыш, р. Аягоз, р. Шар, р. Бухтарма, р. Ульба, оз. Зайсан, Шульбинское вдхр.).

Цель работы: Определить фоновые концентрации естественных и искусственных радионуклидов в водных объектах ВКО с применением методических подходов, позволяющих повысить предел обнаружения.

Задачи исследований:

- выбор и адаптация методических подходов для определения фоновых концентраций естественных радионуклидов (ЕРН) и искусственных радионуклидов (ИРН) в воде;
- определение фоновых концентраций ЕРН и ИРН в водных объектах Восточно-Казахстанской области.

Методология исследований: при выполнении НИР применены радиометрические, спектрометрические и радиохимические методы исследования. Выполнены полевые исследования с отбором проб воды и лабораторные опыты для отработки методических подходов по определению фоновых концентраций ЕРН и ИРН в воде.

Актуальность проблемы: в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой ухудшается состояние рек и водоемов, уменьшаются запасы пресной воды. Обеспечение безопасного водопользования является актуальной и важной задачей не только на территории ВКО, но и республики в целом. На местных мониторинговых постах при оценке качества поверхностных вод определяют химические, гидробиологические показатели и тяжелые металлы. Определение фоновых концентраций радионуклидов в воде является частью мониторинговых исследований и играет большую роль для своевременного обнаружения тенденции увеличения их концентраций в водных объектах и правильного принятия решений, направленных на снижение воздействия на окружающую среду. Однако проблема точной и достоверной оценки радионуклидного загрязнения водной среды обусловлена отсутствием данных по содержанию естественных и искусственных радионуклидов в воде.

Новизна: впервые получены данные по содержанию естественных и искусственных радионуклидов в водных объектах ВКО с применением методических подходов, позволяющих повысить предел обнаружения радионуклидов при проведении лабораторных исследований.

Практическая ценность: исследования по определению содержания естественных и искусственных радионуклидов в водных объектах ВКО позволят повысить качество радиоэкологических исследований и обеспечить долгосрочный мониторинг различных объектов и территорий Республики Казахстан.

В результате работ: Разработаны методические подходы определения низких концентраций естественных (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{210}Po и ^{238}U) и искусственных (^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов в воде, которые основаны на увеличении объема исходного образца, применении методов концентрирования (выпаривание и соосаждение) и оборудования, позволяющего определять низкие концентрации.

Определены фоновые концентрации ЕРН и ИРН в водных объектах Восточно-Казахстанской области.

Личный вклад автора: проведение экспедиционных работ по отбору проб воды, составление отчетной документации, выполнение лабораторных исследований по определению содержания ЕРН и ИРН в воде.

Степень завершенности работы: конкурсная работа является завершенным, целостным и научно-значимым самостоятельным исследованием, вносящим вклад в повышение качества радиозэкологических исследований водных объектов различного типа.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

ЕРН – естественные радионуклиды
ИРН – искусственные радионуклиды
ВКО – Восточно-Казахстанская область

Р. – река
Оз. – озеро
Вдхр. – водохранилище

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Объекты исследований.....	7
2 Методологии проведения исследований.....	8
3 Результаты и обсуждения.....	9
3.1 Выбор и адаптация методических подходов определения фоновых концентраций ЕРН и ИРН в воде.....	9
3.1.1 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^3H	9
3.1.2 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$	10
3.1.3 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra	11
3.1.4 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{210}Po	12
3.1.5 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{238}U	12
3.2 Определение фоновых концентраций ЕРН и ИРН в водных объектах Восточно-Казахстанской области.....	12
Выводы и заключение.....	15
Список использованных источников.....	16

ВВЕДЕНИЕ

Следствием эксплуатации объектов атомной энергетики, аварийных ситуаций на предприятиях ядерно-топливного цикла, испытаний ядерного оружия стало присутствие радионуклидного загрязнения в окружающей среде, в том числе и водной.

Одним из способов контроля содержания радионуклидов в водной среде является радиационный мониторинг – система постоянного наблюдения и контроля наличия и степени радионуклидного загрязнения. Сравнение результатов радиационных измерений, полученных при мониторинге, с результатами определения фоновых величин, позволяет оценить степень загрязнения при отсутствии нормативов качества для каких-либо объектов мониторинга и установить неблагоприятные тенденции в изменении качества окружающей среды.

Таким образом, для проведения корректной оценки радионуклидного загрязнения водных объектов Восточно-Казахстанской области (ВКО) важно иметь информацию о фоновых концентрациях естественных и искусственных радионуклидов в воде, характерных для данной территории.

Для получения качественных данных о фоновых концентрациях радионуклидов в водных объектах, необходимо выполнить разработку соответствующих методических подходов, которые позволят повысить предел обнаружения исследуемых радионуклидов, и провести изучение фоновых концентраций радионуклидов в водных объектах, расположенных на территории ВКО.

Целью данной работы являлось определение фоновых концентраций естественных и искусственных радионуклидов в водных объектах ВКО с применением методических подходов, позволяющих повысить предел обнаружения.

В качестве объектов исследования выбраны водные объекты ВКО различного типа: динамические – р. Иртыш, р. Аягоз, р. Шар, р. Бухтарма, р. Ульба, и статические – оз. Зайсан, а также Шульбинское водохранилище.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- выбор и адаптация методических подходов определения фоновых концентраций ЕРН и ИРН в воде;
- определение фоновых концентраций ЕРН и ИРН в водных объектах Восточно-Казахстанской области.

1 Объекты исследований

ВКО относится к наиболее обеспеченному и богатому водными ресурсами региону Республики Казахстан, что определено ее природно-климатическими условиями. Водный фонд области включает реки, озера, болота, пруды и водохранилища, подземные воды и ледники. Суммарные ресурсы пресных вод в расчете на одного жителя области составляют около 50 тысяч м³ в год, что считается весьма высоким показателем по мировым стандартам [1].

Водные ресурсы области включают:

1) 1017 рек общей протяженностью 28 тыс. км и среднегодовым стоком порядка 30 млрд м³.

2) 1967 озер объемом водной массы около 6,5 млрд м³ (без озера Алаколь и озера Сасыкколь).

3) Около 75 водохранилищ и малых прудов с суммарной проектной емкостью 53 млрд м³.

4) Подземные воды с утвержденными эксплуатационными запасами около 2,4 млрд м³/год.

Центральное место в гидрографической сети области занимает трансграничная р. Иртыш, которая является водным объектом особого государственного значения. Река Иртыш начинается на ледяных склонах Монгольского Алтая на высоте 2500 м, в западной части Китайской провинции Синцзянь, входит в пределы Казахстана судоходной рекой со среднемноголетним расходом около 300 м³/с. Длина р. Иртыш в пределах Казахстана 1698 км. Питание реки смешанное, с преобладанием снегового. Грунтовое питание играет значительно меньшую роль. Дождевое питание не превышает 15-20 %. Сток реки зарегулирован каскадом Иртышских водохранилищ – Бухтарминское, Усть-Каменогорское и Шульбинское [2].

В бассейне Иртыша насчитывается 4 реки протяженностью более 200 км, остальные 775 относятся к категории малых рек. Их общая протяжённость составляет 17,7 тыс. км.

Крупнейшим притоком Иртыша является р. Бухтарма длиной 405 км, в её бассейне учтено 124 реки суммарной длиной 2919 км.

Второй по водности приток Иртыша – р. Уба, длина которой 286 км. В бассейне р. Убы учтено 92 реки суммарной длиной 1998 км.

К средним рекам относится р. Курчум, протяжённостью 218 км. В бассейне р. Курчум учтено 56 рек общей длиной 1321 км.

Река Ульба также является средней рекой. Протяжённость её 98 км, в бассейне учтено 44 реки общей длиной 1014 км, в том числе р. Малая Ульба, протяжённостью 111 км.

У рек Южного Алтая водность меньше. Наиболее крупные реки – Каба, Алкабек, Кальджир, Нарым. Ещё меньшей водностью отличаются реки левобережья Иртыша, особенно Зайсанской котловины – Кендерлык, Уйдене, Кандысу, Большая Буконь, Чар, Кокпекты.

Река Иртыш и озеро Зайсан являются водными объектами особого государственного значения. Особое значение имеет и заповедное озеро Маркаколь, которое аккумулирует 6,4 млрд м³ ультрапресной воды. В перечень водоемов, имеющих особое государственное значение или особую научную ценность, отнесены также пресные озера тектонического происхождения: Рахмановское, Аблакетское, Сибинские, Дубыгалинское, Айыр [3].

Богатый водный фонд ВКО в большей степени имеет «умеренный и высокий уровень загрязнения» по химическим показателям: превышение ПДК содержания сульфатов SO₄²⁻, нитритов NO₂⁻, аммония NH₄⁺, и некоторых тяжелых металлов (Cu, Zn, Mn). Основными факторами техногенного влияния являются сброс неочищенных промышленных, сельскохозяйственных и бытовых стоков в фильтрующие накопители, потери загрязненных вод из инженерных коммуникаций, выбросы газообразных веществ в атмосферу, повышение уровня грунтовых вод в жилых зонах и на массивах орошения [4]. При этом данные о радионуклидном загрязнении водных объектов ВКО отсутствуют. Анализ перечня наиболее опасных радионуклидов, которые могут содержаться в водных объектах на территории ВКО, показал необходимость исследования фоновых концентраций ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ⁴⁰K, ²²⁶Ra,

^{210}Po , ^{232}Th и ^{238}U . Предполагается, что содержание вышеперечисленных радионуклидов на территории ВКО находится ниже средних значений, характерных для водоемов в целом. Использование имеющихся аттестованных методик выполнения измерений не позволяет получить достаточно точные значения удельной активности радионуклидов, вследствие низкого предела обнаружения.

Для определения фоновых концентраций ЕРН (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{238}U) и ИРН (^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) в водах ВКО исследованы водные объекты различного типа: динамические – р. Иртыш, р. Аягоз, р. Шар, р. Бухтарма, р. Ульба, и статические – оз. Зайсан, а также Шульбинское водохранилище. Расположение водных объектов ВКО и точки отбора проб воды представлены на рисунке (Рисунок 1).

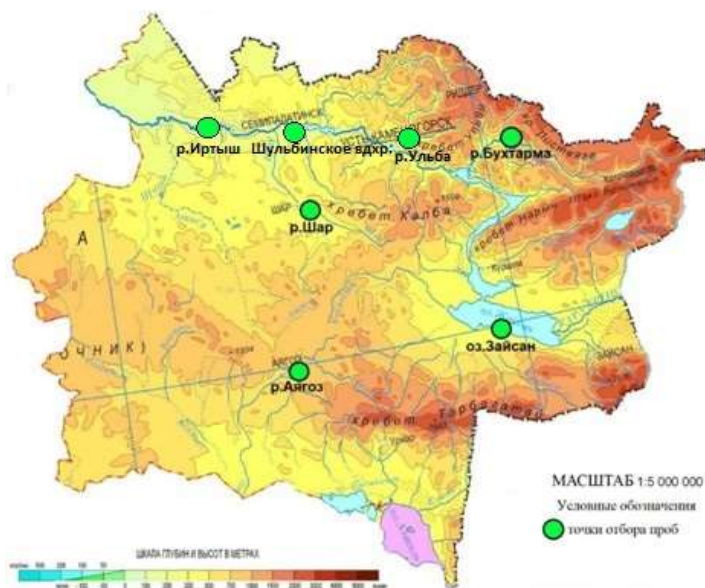


Рисунок 1 – Расположение водных объектов ВКО и точки отбора проб

Точки отбора проб воды выбирались на некотором расстоянии от населенного пункта, для рек – до прохождения через населенный пункт, т.е. в месте наименьшего антропогенного воздействия.

2 Методологии проведения исследований

При определении низких концентраций ЕРН и ИРН в воде необходимо применение таких методических подходов, которые бы позволили понизить предел обнаружения удельной активности исследуемых радионуклидов, т.е. повысить чувствительность применяемого метода. Для этих целей в мировой практике используются методы концентрирования и разделения определяемых компонентов.

Для определения содержания ^3H применяют широкий спектр жидкостно-сцинтилляционных бета-спектрометров, которые не позволяют фиксировать фоновые значения. Так, например, предел обнаружения ^3H в пробах воды для жидкостно-сцинтилляционного спектрометра TRI-CARB-2900/3100 составляет от 8 до 12 Бк/кг. Для повышения чувствительности анализа можно использовать два метода: электролитический и ректификационный, которые позволяют выполнять концентрирование проб в 100-1000 раз и более [5]. В лабораторной практике наиболее широко используется электролитический метод концентрирования. Тем не менее, необходимо выделить основные проблемы, возникающие при использовании данной технологии: высокие энергозатраты, длительность и сложность пробоподготовки, необходимость определения степени обогащения пробы ^3H . Альтернативным решением является применение низкофоновых жидкостно-сцинтилляционных бета-спектрометров. В данной работе для решения поставленной цели выбран бета-спектрометрический метод анализа

на основе использования низкофонового жидкостного спектрометрического радиометра SL-300 (предел обнаружения ^3H в пробах воды составляет не более 4 Бк/кг).

При определении содержания в воде таких радионуклидов как ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ для достижения как можно меньших значений минимальной определяемой активности радионуклидов, обычно увеличивают объем анализируемой пробы. Поскольку выполнение операций по химическому выделению анализируемого радионуклида в чистом виде из большого объема пробы влечет увеличение расхода реагентов, образования отходов и затрат времени и труда, представляется оправданным предварительное неселективное концентрирование анализируемых радионуклидов и части примесей в минимальный объем [6, 7]. Методы предварительного концентрирования основаны на соосаждении анализируемого радионуклида с труднорастворимыми соединениями, либо на сорбции неселективными ионообменниками. Одним из распространенных методов концентрирования является выпаривание. Однако этот метод достаточно энергоемок. Сделано предположение, что весьма эффективным может быть комбинированное концентрирование радионуклидов методом выпаривания и соосаждения.

Метод выпаривания может быть использован для предварительного концентрирования как искусственных, так и некоторых естественных радионуклидов (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra). Метод применим для образцов воды с низким содержанием солей и направлен на концентрирование радионуклидов в минимальном объеме. Большую роль при выпаривании играет интенсивность кипения и химический состав воды: интенсивное кипение и образование пены в процессе выпаривания способствуют потере радиоактивных веществ вследствие их перехода в парогазовую фазу [8].

Содержание ^{210}Po в природных объектах определяется исключительно по его альфа-излучению после предварительной радиохимической очистки от всех мешающих альфа-излучателей и макрокомпонентов. Выделение отдельной фракции ^{210}Po осуществляется комбинацией нескольких операций соосаждения, а также с помощью экстракции, ионообменной и экстракционной хроматографии или бестокового осаждения на различных металлах [9]. Последний способ, как наиболее эффективный и простой, в настоящее время не имеет достойной альтернативы и в разных вариантах рекомендуется практически во всех методиках. Из разбавленных растворов (например, природные воды) радионуклиды концентрируются соосаждением с гидроксидом железа, осадок растворяется в 0,5 М HCl и затем выполняется бестоковое осаждение на металлическую подложку.

Для определения ^{238}U существует большой арсенал методов, как физических, в инструментальном варианте или с предварительным концентрированием (нейтронно-активационный, рентгеноспектральный, рентгенофлуоресцентный, фотометрический, люминесцентный, масс-спектрометрический, лазерно-люминесцентный методы), так и химических (гравиметрический, титриметрический и др.). Для одновременного определения изотопов U в системе радиационного мониторинга и контроля оптимальным является альфа-спектрометрический метод с упрощенной радиохимической подготовкой, позволяющий достигать предела обнаружения на уровне фона. Этот метод обеспечен как импортными, так и отечественными серийными альфа-спектрометрами. Однако, наибольшими возможностями обладает использование современных масс-спектрометров с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS, которые позволяют оценивать содержание как ^{238}U , так и ^{234}U в водных пробах, если $^{238}\text{U} \geq 1$ мкг/л (0,012 Бк/л) [10].

3 Результаты и обсуждения

3.1 Выбор и адаптация методических подходов определения фоновых концентраций ЕРН и ИРН в воде

3.1.1 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^3H

С целью определения низких содержаний ^3H в природных водах выбран бета-спектрометрический метод анализа с помощью низкофонового жидкостного α -, β -радиометра SL-300. Выполнена экспериментальная работа по определению минимальной детектируемой

активности (МДА) ^3H , которая проводилась с тритированными водными образцами и разными видами сцинтиллятора (ULTIMA GOLD и ULTIMA GOLD LLT). По результатам проведенного эксперимента установлено, что МДА для ^3H составляет порядка 4 Бк/кг за 10 часов измерения с применением сцинтиллятора ULTIMA GOLD LLT.

Для отработки методики работы на радиометре SL-300 проведены лабораторные эксперименты для выбора оптимальных параметров измерения содержания ^3H в подготовленных пробах воды. В проведенных экспериментах менялись:

- марка сцинтиллятора;
- соотношение образец-сцинтиллятор;
- время экспозиции.

Проведено 15 экспериментов, в ходе которых сделаны следующие выводы:

1. Марка сцинтиллятора не оказывает существенного влияния на результат измерения.
2. Наиболее оптимальным соотношением образец-сцинтиллятор является отношение 8:12 мл.
3. Оптимальное время измерения каждой пробы составляет 2 часа (7200 с) с учетом предварительного отстаивания проб в темном месте не менее 10-12 часов.

Для адаптации и подтверждения эффективности данного метода выполнен анализ проб воды, отобранных в р. Иртыш с использованием двух аналитических установок - радиометра SL-300 и бета-спектрометра TRI-CARB-2900. Удельная активность ^3H в пробах воды составила < 4 Бк/кг (радиометр SL-300) и < 12 Бк/кг (бета-спектрометр TRI-CARB-2900). Таким образом, применение низкофонового радиометра SL-300 позволяет повысить чувствительность определения ^3H в 3 раза.

3.1.2 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$

В настоящее время определение радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ выполняется по методике KZ.07.00.01684-2013 «Определение содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 и цезия-137 в водах методом концентрирования». Согласно данной методике, определение $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs в пробах воды проводится последовательно из одной пробы после предварительного концентрирования химическим методом соосаждения. Определение содержания $^{239+240}\text{Pu}$ проводится после предварительного концентрирования методом соосаждения с гидроксидом железа (III), экстракционно-хроматографического выделения и электролитического осаждения альфа-спектрометрическим методом. Определение содержания ^{90}Sr выполняется по дочернему ^{90}Y после предварительного концентрирования методом соосаждения с карбонатом кальция и радиохимического выделения бета-спектрометрическим методом. Определение содержания ^{137}Cs проводится после предварительного концентрирования методом соосаждения с гексацианоферратом (II) меди гамма-спектрометрическим методом.

Для определения полноты осаждения $^{239+240}\text{Pu}$ проведен эксперимент по двойному соосаждению проб воды объемом 10 л. Первоначально проведено соосаждение с гидроксидом железа (III) по стандартной методике и получены образцы осадков №1.1 и 2.1. После их отделения от надосадочной жидкости методами декантации и фильтрации, выполнено повторное соосаждение радионуклида в объединенном фильтрате и декантате, и получены образцы осадков №1.2 и 2.2. Полученные результаты представлены в таблице (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в образцах воды

№ образца	Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$, Бк/кг
1.1	0,20 ± 0,01
1.2	0,070 ± 0,008
2.1	0,30 ± 0,02
2.2	0,10 ± 0,01

На основании полученных данных установлено, что однократное соосаждение $^{239+240}\text{Pu}$ из проб воды протекает не полностью, значительная часть радионуклида порядка 33 – 35 % остается неосажденной. Далее определение содержания $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах воды проводилось после двойного соосаждения.

Согласно литературным данным, Pu в природных водах может находиться в разных степенях окисления от III до VI. При этом, с гидроксидом железа (III) соосаждается только Pu (III). Для перевода Pu IV-VI в Pu (III) необходимо использование восстановителя. Для этих целей в пробу воды перед стадией соосаждения $^{239+240}\text{Pu}$ вносился дисульфит калия ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) из расчета 0,5 г/л. Далее проводилось соосаждение с гидроксидом железа (III) и определение содержания $^{239+240}\text{Pu}$ согласно стандартной методике. Полученные результаты представлены в таблице (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в образцах воды

№ образца	Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$, Бк/кг
без $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$0,20 \pm 0,01$
с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$0,20 \pm 0,01$
без $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$0,30 \pm 0,02$
с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$0,30 \pm 0,02$

На основании полученных данных установлено, что добавление восстановителя не играет существенной роли при определении содержания $^{239+240}\text{Pu}$ в образцах. Вероятно, $^{239+240}\text{Pu}$ в воде содержится преимущественно в степени окисления III, а содержание в других степенях окисления не существенно.

Для определения полноты осаждения ^{90}Sr и ^{137}Cs проведен эксперимент по двойному соосаждению тех же проб воды объемом 10 л, аналогично соосаждению $^{239+240}\text{Pu}$. Полученные результаты представлены в таблице (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в образцах воды

№ образца	Удельная активность, Бк/кг	
	^{90}Sr	^{137}Cs
1.1	$5,5 \pm 0,8$	$< 0,03$
1.2	$< 0,6 \cdot 10^{-2}$	-
2.1	650 ± 65	6 ± 1
2.2	$< 0,8 \cdot 10^{-2}$	$< 0,01$

Примечание: – повторное осаждение в данной пробе не проводилось

Согласно полученным данным, содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в образцах после повторного соосаждения находится ниже ПО. Сделан вывод, что на данных этапах нет необходимости проводить двойное соосаждение, как в случае с $^{239+240}\text{Pu}$.

Одним из путей повышения чувствительности методики является увеличение объема исследуемого образца. Для повышения чувствительности данной методики объем пробы воды увеличили до 100 л. Однако, подготовка проб такого объема методом соосаждения является довольно затратной по времени, требует большого количества химических реактивов, а также приведет к образованию большого объема отходов. Для достижения поставленной цели принято решение применить двухстадийное концентрирование, основанное на физическом концентрировании (выпаривании) проб объемом 100 л до 10 л и дальнейшем концентрировании радионуклидов методом соосаждения.

3.1.3 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra

Для снижения МДА естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в пробах воды наиболее распространенным является физический метод предварительного концентрирования – выпаривание из больших объемов проб (~100 л). С этой целью проведен отбор пробы в

р. Иртыш объемом 100 л. Эксперимент заключался в определение удельной активности радионуклидов в пробе двумя методами:

- без предварительного концентрирования, т.е. «прямыми» измерениями пробы объемом порядка 400 мл на гамма-спектрометре;
- после предварительного концентрирования методом выпаривания пробы объемом 100 л до сухого остатка, который затем измерялся на гамма-спектрометре.

Полученные результаты представлены в таблице (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K в образцах воды

Образец	Удельная активность, Бк/кг		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
«Прямые» измерения	< 1,5	< 4	< 30
Измерения сухого остатка после выпаривания	< 0,0035	< 0,005	< 0,055

Согласно результатам анализа, проведение концентрирования проб воды объемом 100 л методом выпаривания позволяет снизить МДА при определении естественных радионуклидов на 3 порядка.

3.1.4 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{210}Po

Для определения низких содержаний ^{210}Po в пробах воды использовалась методика МН 2608-2006 ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» «Методика определения удельной активности естественных радионуклидов (полония-210, свинца-210, радия-224, радия-226, радия-228) в пробах поверхностной и питьевой воды». Для отработки методики отобраны 2 пробы воды в Шульбинском и Бухтарминском водохранилищах объемом 1,5 л. Согласно данной методике, определение содержания ^{210}Po проводилось после автоосаждения на медные диски альфа-спектрометрическим методом. Содержание ^{210}Po в пробах воды составило: для Бухтарминского водохранилища – $(3,8 \pm 0,8) \cdot 10^{-4}$ Бк/кг, для Шульбинского водохранилища – $(3,6 \pm 0,8) \cdot 10^{-4}$ Бк/кг. По результатам апробации метода можно сделать вывод, что МДА метода при использовании 1,5-2 л пробы позволяет определять активность радионуклида на уровне 10^{-3} - 10^{-4} Бк, при этом уровень вмешательства с водой (УВ) для ^{210}Po составляет 0,11 Бк/кг. Установлено, что проведение дополнительного концентрирования при определении ^{210}Po в воде нецелесообразно.

3.1.5 Разработка методических подходов определения низких концентраций ^{238}U

Для определения низких содержаний ^{238}U в пробах воды был выбран метод анализа на масс-спектрометре индуктивно-связанной плазмой «ICP MASS Spectrometer ELAN 9000», который позволяет проводить анализ ультраследового содержания элементов. Эксперимент по определению низких концентраций ^{238}U и ^{235}U в воде проводился на примере пробы воды, отобранной в истоке р. Бухтарма. Содержание ^{238}U составило $0,7 \pm 0,09$ мкг/л, ^{235}U – ниже предела обнаружения (<0,001 мкг/л). При этом ПДК ^{238}U в воде составляет 15 мкг/л. Результаты исследования показали, что чувствительность используемого метода приемлема для определения низких концентраций ^{238}U , следовательно, нет необходимости проводить дополнительную пробоподготовку методом концентрирования.

3.2 Определение фоновых концентраций ЕРН и ИРН в водных объектах Восточно-Казахстанской области

Для определения фоновых концентраций ЕРН (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{238}U) и ИРН (^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) в водах ВКО произведен отбор проб объемом до 200 л на каждом из исследуемых водных объектов (рисунок 2).



р. Аягоз



оз. Зайсан

Рисунок 2 – Отбор проб воды

Затем проведены лабораторные исследования по определению ЕРН и ИРН согласно выбранным методам. Результаты определений представлены в таблицах (таблица 5 и 6).

Таблица 5– Содержание ЕРН в воде

Место отбора	Удельная активность, Бк/кг				
	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{238}U
р. Иртыш	$0,1 \pm 0,01$	$< 5,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,5 \cdot 10^{-3}$	$(2,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(1,6 \pm 0,13) \cdot 10^{-2}$
р. Аягоз	$< 0,045$	$< 5,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,5 \cdot 10^{-3}$	$(1,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-4}$	$(9,9 \pm 0,68) \cdot 10^{-2}$
р. Шар	$< 0,05$	$< 5,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,5 \cdot 10^{-3}$	$< 1,1 \cdot 10^{-4}$	$(6,0 \pm 0,94) \cdot 10^{-2}$
р. Бухтарма	$0,9 \pm 0,09$	$< 6,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,5 \cdot 10^{-3}$	$(7,6 \pm 2,1) \cdot 10^{-4}$	$(3,8 \pm 0,25) \cdot 10^{-3}$
р. Ульба	$< 2,0 \cdot 10^{-2}$	$< 2,5 \cdot 10^{-3}$	$(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	-
оз. Зайсан	$0,9 \pm 0,09$	$< 7,0 \cdot 10^{-3}$	$< 4,0 \cdot 10^{-3}$	$< 1,8 \cdot 10^{-5}$	$(3,8 \pm 0,25) \cdot 10^{-2}$
Шульбинское вдхр.	$< 6,5 \cdot 10^{-2}$	$< 6,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,0 \cdot 10^{-3}$	$(2,9 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$	-

Таблица 6– Содержание ИРН в воде

Место отбора	Удельная активность, Бк/кг			
	^3H	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
р. Иртыш	< 4	$< 2,0 \cdot 10^{-3}$	$(3,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$	$< 6,0 \cdot 10^{-4}$
р. Аягоз	< 4	$< 1,0 \cdot 10^{-3}$	$< 8,0 \cdot 10^{-3}$	$< 1,2 \cdot 10^{-5}$
р. Шар	< 4	$< 1,0 \cdot 10^{-3}$	$< 4,0 \cdot 10^{-3}$	$(1,2 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$
р. Бухтарма	< 4	$< 1,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,0 \cdot 10^{-3}$	$< 9,9 \cdot 10^{-6}$
р. Ульба	< 4	$< 1,0 \cdot 10^{-2}$	$< 7,0 \cdot 10^{-2}$	$(4,8 \pm 2,5) \cdot 10^{-5}$
оз. Зайсан	< 4	$< 1,0 \cdot 10^{-3}$	$< 3,0 \cdot 10^{-3}$	$< 1,5 \cdot 10^{-5}$
Шульбинское вдхр.	< 4	$< 1,0 \cdot 10^{-2}$	$(1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$	$< 9,5 \cdot 10^{-5}$

Установлено, что фоновые концентрации ЕРН и ИРН в воде составляют: $^{40}\text{K} - 0,90 \pm 0,09$ Бк/кг, $^{232}\text{Th} - < 7,0 \times 10^{-3}$ Бк/кг, $^{226}\text{Ra} - < 4,0 \times 10^{-3}$ Бк/кг, $^{210}\text{Po} - (7,6 \pm 2,1) \times 10^{-4}$ Бк/кг, $^{238}\text{U} - (9,9 \pm 0,68) \times 10^{-2}$ Бк/кг (содержится в $7,9 \pm 0,54$ мкг/л), $^3\text{H} - < 4$ Бк/кг, $^{137}\text{Cs} - < 1,0 \times 10^{-3}$ Бк/кг, $^{90}\text{Sr} - < 8,0 \times 10^{-3}$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu} - (1,2 \pm 0,5) \times 10^{-4}$ Бк/кг.

ВЫВОДЫ

1. Выбраны и адаптированы методические подходы для определения фоновых концентраций естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{40}K , ^{232}Th , ^{210}Po , ^{238}U) и техногенных (^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов в воде. При определении радионуклидов ^{226}Ra , ^{40}K , ^{232}Th применено предварительное концентрирование радионуклидов методом выпаривания из проб воды больших объемов (100 л) до сухого остатка. При определении естественных радионуклидов данным методом чувствительность метода повышается на 3 порядка. Выполнена проверка эффективности использования методики определения ^{210}Po из проб воды объемом 1,5-2 л автоосаждением на медных дисках. Установлено, МДА данного метода достаточно низкая и позволяет определять активность радионуклида на уровне 10^{-3} – 10^{-4} Бк/кг. Проведена работа по определению эффективности применения для определения низких содержаний ^{238}U методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Аппаратурно-методическое обеспечение, используемое при определении U в воде позволяет обнаруживать его содержание до 0,001 мкг/л.

Для определения содержания ^3H на низкофоном радиометре SL-300 выполнены экспериментальные работы, позволившие подобрать оптимальные условия при определении ^3H в воде (ПО – 4 Бк/кг).

2. Определены фоновые концентрации естественных и техногенных радионуклидов в воде водных объектов ВКО, которые составили: ^{40}K – $0,9\pm 0,09$ Бк/кг, ^{232}Th – $< 7,0\cdot 10^{-3}$ Бк/кг, ^{226}Ra – $< 4,0\cdot 10^{-3}$ Бк/кг, ^{210}Po – $(7,6\pm 2,1)\cdot 10^{-4}$ Бк/кг, ^{238}U – $(9,9\pm 0,68)\cdot 10^{-2}$ Бк/кг (содержится в $7,9\pm 0,54$ мкг/л), ^3H – < 4 Бк/кг, ^{137}Cs – $< 1,0\cdot 10^{-3}$ Бк/кг, ^{90}Sr – $< 8,0\cdot 10^{-3}$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – $(1,2\pm 0,5)\cdot 10^{-4}$ Бк/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные фоновые значения концентраций естественных и искусственных радионуклидов позволят установить неблагоприятные тенденции влияния промышленных объектов на природные воды ВКО.

В дальнейшем разработанные методические подходы могут быть применены не только при исследовании водных объектов ВКО, но и для определения фоновых значений радионуклидов в водных объектах на территории Казахстана. Это позволит повысить качество радиоэкологических исследований и обеспечить долгосрочный мониторинг различных объектов и территорий республики

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Мамбетказиева Р.А.**, Данилова А.Н., Мамбетказиев Е.А. Региональные особенности природной среды Восточного Казахстана // Вестник КАСУ. – 2011. – №6. – С.35-39.
2. Современные проблемы Иртышского бассейна / Информационный бюллетень // Отчет Всемирного банка реконструкции и развития. – Семей, 2006. – С.45-46.
3. **Батралина Н.Ж.** Состояние водных ресурсов Восточно-Казахстанской Области // Гигиена труда и медицинская экология. – 2016. - № 4 (53). – С. 34-40.
4. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2019 г. / МЭ РК, РГП «Казгидромет», Департамент экологического мониторинга. – 2019. – С. 205-213.
5. **Зельенский Я.Д.**, Николаев Д.А., Татаринский В.С. и др. Концентрирование проб воды для определения содержания трития // Атомная энергия. – М., 1965. – Т. 18, вып.4. – С. 367-372.
6. **Жерин И.И.**, Амелина Г.Н. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов. - Томск: ТПУ, 2009. – 196 с.
7. **Довнар А.К.**, Лысенкова А.В. Радиохимические методы определения изотопов плутония и америция в объектах окружающей среды альфа-спектрометрией / Проблемы здоровья и экологии. - 2012. Вып. 4 (34). – С. 111-117.
8. Радиоактивные загрязнения внешней среды / Под ред. В.П. Шведова, С.И. Широкова. - М.: АНИТ, 1962. – 275 с.
9. **Бахур А.Е.**, Мануилова Л.И., Овсянникова Т. М. Po-210 и Pb-210 в объектах окружающей среды. Методы определения // АНРИ. – 2009. - №1 (56). – С. 29-40.
10. **Бахур А.Е.**, Мануилова Л.И., Овсянникова Т.М. и др. Новая методика ускоренного определения объемной активности изотопов урана в водных пробах // АНРИ. – 2012. - №1 (68). – С. 2-4.