

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

УДК 631.417.1

Раимканова Альмира Муратовна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАДИОУГЛЕРОДА
В ПОЧВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

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

(прикладные исследования)

Руководитель: Ляхова О.Н., начальник отдела
РСМОС, PhD

г. Курчатов, 2020 г.

АВТОР

Раимканова Альмира Муратовна

инженер 2 категории лаборатории экспериментальных исследований механизмов переноса
Филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК»,

1989 года рождения,

Образование высшее (Восточно-Казахстанский государственный университет, 2012 г.),

специальность – химия,

квалификация по диплому – химическая экспертиза,

Магистратура (Восточно-Казахстанский государственный университет, 2016 г.)

специальность – химия,

работает в филиале «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК» с 2013 г.,

общий стаж работы 8 лет.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Инженер лаборатории
экспериментальных исследований
механизмов переноса ОРСМОС _____



А.М. Раимканова

подпись, дата

Начальник отдела
разработки систем мониторинга
окружающей среды ИРБЭ _____



О.Н. Ляхова

подпись, дата

РАИМКАНОВА А.М.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАДИОУГЛЕРОДА
В ПОЧВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

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. Бейбит атом, 2,
тел. +7 (72251) 3 25 20 (вн. 101)
факс +7 (72251) 3 28 06
E-mail: raimkanova@nnc.kz

РЕФЕРАТ

Конкурсная работа содержит 16 страниц, 8 иллюстраций, 3 таблицы, 9 источников.

РАДИОУГЛЕРОД (^{14}C), PYROLYSER-6 TRIO, ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ
СПЕКТРОМЕТР SL-300, СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ИСПЫТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН (СИП),
ПЛОЩАДКА «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ», ПОЧВА

Объект исследования: почвы в районе технических площадок «Опытного поля».

Цель работы: исследование распределения радиоуглерода (^{14}C) в почвах, загрязненных в результате проведения ядерных испытаний на площадке «Опытное поле».

Задачи исследований:

- оценка точности радиоуглеродного анализа с применением стандартных образцов;
- методические подходы для определения концентрации ^{14}C с применением системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio;
- исследование уровня содержания ^{14}C в почве технических площадок «Опытного поля».

Методология исследований: Методология исследований заключалась в определении концентрации ^{14}C жидкосцинтилляционным методом. Подготовка проб почвы проводилась с использованием системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio. Данное лабораторное оборудование предназначено для окисления пробы и сбора образовавшихся при окислении радионуклидов в индивидуальные счётные флаконы. Pyrolyser-6 Trio является многоканальной системой, что позволяет одновременно сжигать 6 проб массой до нескольких граммов в зависимости от их материала. Система включает в себя: контролируемый нагрев, расходомер воздуха и кислорода, зону каталитического окисления и каскад барботеров для количественного улавливания продуктов полного окисления пробы.

Актуальность проблемы: На сегодняшний день проблема исследования поведения ^{14}C в окружающей среде в районах размещения предприятий ядерного-топливного цикла (ЯТЦ) и в местах проведения ядерных испытаний изучена недостаточно. Роль почвы в углеродном цикле биологической цепи является определяющей. В почве формируется основная часть потока углерода в окружающую среду в результате трансформаций в почве и отмирающей биомассе. Проведение контроля за содержанием ^{14}C в почве, который по своим характеристикам является радиационно-опасным изотопом углерода, является научно и практически обоснованным, так как не исключается вероятность его поступления в другие объекты окружающей среды.

Новизна: На основе результатов исследований разработан метод определения концентраций ^{14}C с применением системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio; впервые, на основе данного метода проведена оценка содержания ^{14}C на участках, подверженных радиоактивному загрязнению вследствие проведения ядерных испытаний на площадке «Опытное поле».

Практическая ценность: Полученные экспериментальные данные имеют прикладное значение при разработке практических рекомендаций по улучшению экологической ситуации в районах размещения объектов ЯТЦ и в местах проведения ядерных испытаний.

В результате работ: Проведены эксперименты со стандартными образцами в целях достоверности полученных первичных данных. Разработаны методические приемы исследования ^{14}C в почвенных экосистемах. Получены количественные данные по содержанию ^{14}C в почвах технических площадок «Опытного поля».

Производительность процедуры сжигания на Pyrolyser-6 Trio оценивалась посредством анализа сертифицированных стандартов радиоуглерода. Установлено, что химический выход ^{14}C при сжигании сертифицированного стандарта в виде ^{14}C -карбоната составляет 95 %.

Личный вклад автора: непосредственное участие в планировании работ, разработке лабораторных исследований. Проведение экспериментальных работ с почвой, сбор, анализ и обработка полученных данных, и подготовка отчетной документации.

Степень завершенности работы: конкурсная работа является завершенной. В результате исследований выявлена неравномерность распределения концентрации ^{14}C в почвах. При этом, наиболее высокое его содержание зафиксировано непосредственно в эпицентрах площадки «Опытное поле». Наиболее вероятно, причиной этому послужили нейтронно-активационные процессы, происходящие на данных участках в процессе проведения ядерных взрывов.

Публикации

1. Раимканова, А.М. Оценка влияния физико-химических факторов на процессы выщелачивания радионуклидов из грунта / А.М. Раимканова, А. К. Айдарханова, О. Н. Ляхова, З. Б. Сержанова // Журнал «Радиохимия», 2019, Т. 61, № 5, С. 439-445.

2. Раимканова, А.М. Исследование выщелачивания техногенных радионуклидов из грунта зоны навала «Атомного» озера / А.М. Раимканова, А. К. Айдарханова, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана, сборник трудов Национального ядерного центра РК, Казахстан – 2017. Выпуск 6, том I, С. 333-339.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

СИП – Семипалатинский испытательный полигон

^{14}C – радиоуглерод

^{14}N – азот

УА – удельная активность

ЖСС – жидкосцинтилляционный спектрометр

Бк/кг – Беккерель на килограмм

β – бета

РЗУ – радиоактивно загрязненные участки

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Объект исследования.....	7
2 Методология проведения исследований.....	8
2.1 Отбор проб.....	8
2.2 Радиоуглеродный анализ с применением Pyrolyser-6 Trio	8
2.3 Проведение β -спектрометрических измерений	11
3 Результаты и обсуждения.....	12
3.1 Оценка точности радиоуглеродного анализа с применением стандартных образцов.....	12
3.2 Методические подходы к определению концентраций ^{14}C с применением системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio.....	13
3.3 Исследование распределения ^{14}C в почвах технических площадок «Опытного поля».....	14
Выводы и заключение.....	15
Список использованных источников.....	15

ВВЕДЕНИЕ

В связи с высокими темпами развития атомной индустрии оценка состояния окружающей среды сегодня является одним из приоритетных направлений исследований. Проблема исследования поведения радиоуглерода (^{14}C) в окружающей среде в районах размещения предприятий ядерного-топливного цикла (ЯТЦ) и в местах проведения ядерных испытаний изучена недостаточно. Однако, контроль за содержанием и миграцией данного радионуклида является одной из важных задач для экологии и безопасности жизнедеятельности человека.

Радиоуглерод – долгоживущий изотоп с периодом полураспада 5730 лет. В природных условиях он образуется в верхних слоях атмосферы под воздействием космического излучения. Радиоуглерод техногенного происхождения поступает в атмосферу при испытаниях ядерного оружия («бомбовый углерод») и при работе ядерных реакторов, как промышленных, так транспортных и исследовательских [1]. После поступления в окружающую среду, ^{14}C входит в состав подвижных химических соединений, таких как $^{14}\text{CO}_2$ (70-95 %), ^{14}CO (25-30 %) и углеводов (0–25 %). Кроме того, он попадает в природную среду с жидкими сбросами в виде карбонатов и ионов угольной кислоты.

Поступление отходов ядерного цикла в окружающую среду приводит к процессам загрязнения и повышения радиационной опасности. Радиоуглерод, образующийся в процессе рабочего цикла ядерного реактора, частично или полностью выбрасывается в окружающую среду в виде газоаэрозолей, а содержащийся в топливе реактора – с радиоактивными отходами. Радиоуглерод, окисленный во внешней среде до $^{14}\text{CO}_2$, в процессе фотосинтеза накапливается в растениях, а затем по пищевым цепочкам поступает в организм животных и человека. Разрушающее воздействие радиоуглерода на живые организмы определяется его биологическим сродством к тканям живого организма [2]. Повреждающее действие ^{14}C , вошедшего в состав молекул белков и, особенно, в ДНК и РНК живого организма, обусловлено как радиационным воздействием β -частиц и ядер отдачи азота, так и изменением химического состава молекулы в результате превращения атома углерода в атом азота. Значительная часть повреждений ДНК при распаде ^{14}C приводит преимущественно к генным мутациям, связанным с изменением химической структуры молекулы. Такие изменения практически не восстанавливаются системой репарации и являются необратимыми [3].

Так как радиоуглерод является своеобразным маркером техногенного загрязнения, исследование его распределения в природных объектах является составной частью мониторинга окружающей среды. ^{14}C способен накапливаться и оставаться долгое время в биотических и абиотических компонентах экосистем, что позволяет проводить ретроспективный и текущий анализ состояния окружающей среды [4].

Исследования радиоуглерода в целях радиационного контроля и радиоэкологического мониторинга до настоящего времени в Казахстане не проводились. Прежде всего, это обусловлено отсутствием дорогостоящего оборудования для высокоточного определения содержания ^{14}C . Также, определенные затруднения у исследователей вызывают достаточно трудоемкие и затратные по времени методы подготовки проб и проведения измерений.

Целью данной работы являлось исследование распределения ^{14}C в почве, загрязненной в результате проведения ядерных испытаний на площадке «Опытное поле».

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- оценка точности радиоуглеродного анализа с применением стандартных образцов;
- методические подходы к определению концентраций ^{14}C с применением системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio;
- исследование уровня содержания ^{14}C в почвах технических площадок «Опытного поля».

1 Объект исследования

Исследования проведены на площадке «Опытное поле», которая являлась первой испытательной площадкой Семипалатинского полигона. Исследуемая площадка представляет собой равнину диаметром примерно 20 км, окруженную с трех сторон невысокими холмами и занимает площадь порядка 300 км². На ее территории в период с 1949 по 1962 было проведено 116 ядерных испытаний (86 воздушных и 30 наземных). Очевидно, что такое количество ядерных испытаний на сравнительно небольшой территории послужило причиной радиоактивного загрязнения почвенного покрова, в том числе ¹⁴C.

В пределах площадки «Опытное поле» существует ряд технических площадок (П 1, П 3, П 5), где непосредственно проводились наземные ядерные испытания. В местах проведения наземных испытаний имеются воронки с навалами грунта и фрагментами оплавленной почвы, содержащей продукты ядерных взрывов. Значительное радиоактивное загрязнение местности распространяется на сотни метров от эпицентров. Мощность дозы на навалах некоторых воронок превышает 40 мкЗв/ч.

На технических площадках П 2, П-7 проводились, в основном, гидроядерные и гидродинамические эксперименты. В процессе этих экспериментов практически отсутствовало значимое ядерное энерговыделение. Это привело к образованию небольшого количества «продуктов деления», поэтому радиационное воздействие на окружающую среду в ходе их осуществления происходило за счет диспергирования ядерных взрывчатых веществ (делящихся материалов), входящих в состав взрывных устройств (Рисунок 1).

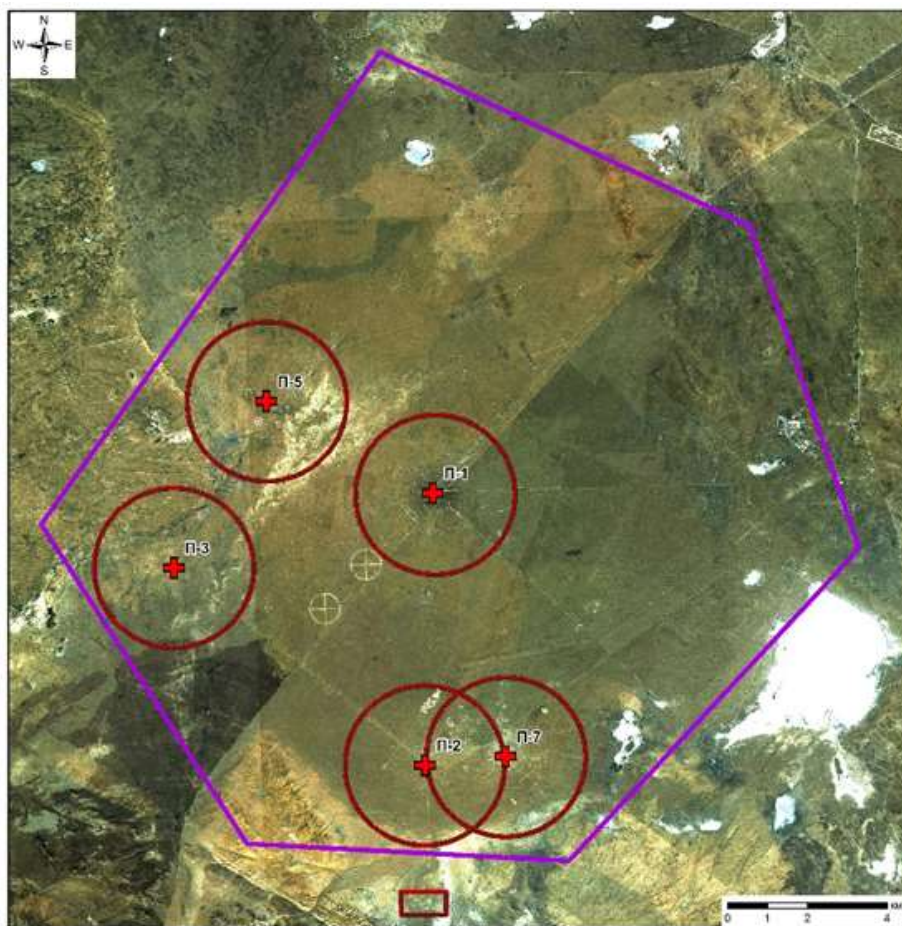


Рисунок 1 – Технические площадки на «Опытном поле»

Согласно результатам ранее проведенных радиоэкологических исследований площадки «Опытное поле» установлено, что все места проведения испытаний можно условно разделить на три группы: 1) места проведения ядерных испытаний с большим энерговыделением - наличие значительных количеств продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) ядерного взрыва; 2) места ядерных экспериментов с малым или полным отсутствием ядерного энерговыделения – высокие концентрации материала заряда ($^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am); 3) места проведения испытаний с высоким (интенсивным) нейтронным потоком – наличие значительных количеств продуктов активации (^{60}Co , изотопы Eu , ^3H и др.) [5]. Последнее представляет для нас наибольший интерес, так как ^{14}C образуется при взаимодействии нейтронов, возникающих при ядерном взрыве, с ядрами атомов азота, в количествах, которые приводят к заметному увеличению его содержания в атмосфере и биосфере (Рисунок 2) [6].

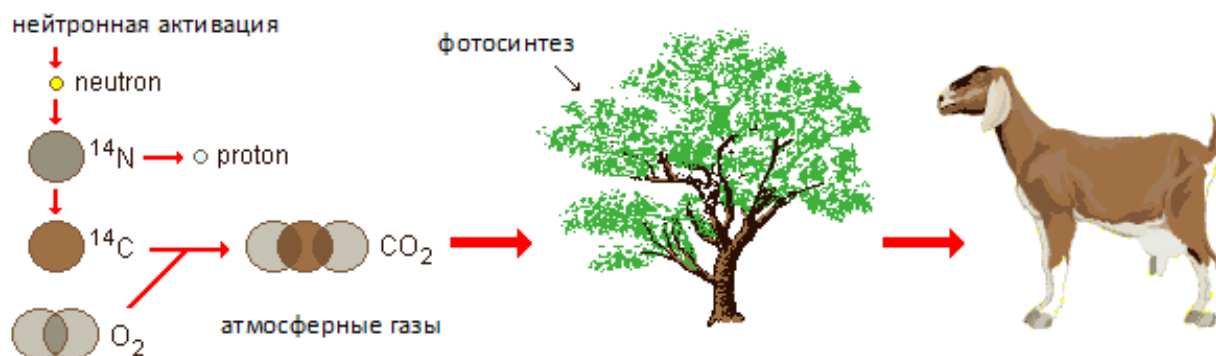


Рисунок 2 – Круговорот радиоуглерода в природе

2 Методология проведения исследований

Методология исследований заключалась в определении концентрации ^{14}C жидкосцинтилляционным методом. Для решения поставленных задач применялся Pyrolyser-6 Trio - прибор автоматической подготовки образцов, способный переводить ^{14}C из тканей биологических объектов, почвы, осадков, донных отложений в жидкую фазу для анализа на жидкосцинтилляционных счетчиках, и жидкосцинтилляционный спектрометр SL-300. Подготовка проб методом окисления позволяет анализировать твёрдые, жидкие и нерастворимые образцы, анализ которых нередко затрудняют геометрические факторы или самопоглощение.

2.1 Отбор проб

Радиогеохимический мониторинг является основным методом получения регулярной и системно организованной информации о пространственном распределении радиоактивных элементов или их изотопов и закономерностях их мобилизации, транзита, локализации и фиксации.

Для оценки распределения ^{14}C в почве на выбранных участках исследования производился отбор проб. На каждом исследовательском участке была отобрана одна проба на глубину 0-10 см с площади 100 см^2 . Пробы почвы собирались в чистые полиэтиленовые пакеты. Отобранные образцы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105°C , удаляли включения (камни, корни растений и т.п.) и гомогенизировали [7].

2.2 Радиоуглеродный анализ с применением Pyrolyser-6 Trio

Модели печей Pyrolyser специально разработаны для эффективного извлечения летучих радионуклидов (в том числе ^3H , ^{14}C ,) из различных матриц (почва, донные отложения, пищевые

продукты, биота, бетон и другие строительные материалы, металлы и биопробы). Наиболее значимой модификацией серии «Trio» стало добавление печи со средней зоной, расположенной между печью с зоной пробы и катализатора. Нагрев данной печи активируется при достижении в зоне пробы заранее заданной температуры 600°C. Нагрев зоны между зонами пробы и катализатора гарантирует эффективную передачу летучих органических форм нахождения в зону катализатора. Многоканальная система Pyrolyser-6 Trio полностью интегрирована в один компактный агрегат. Каждая система включает в себя контролируемый нагрев, расходомер воздуха и кислорода, зону каталитического окисления и каскад барботеров для количественного улавливания продуктов полного окисления пробы (Рисунок 3).

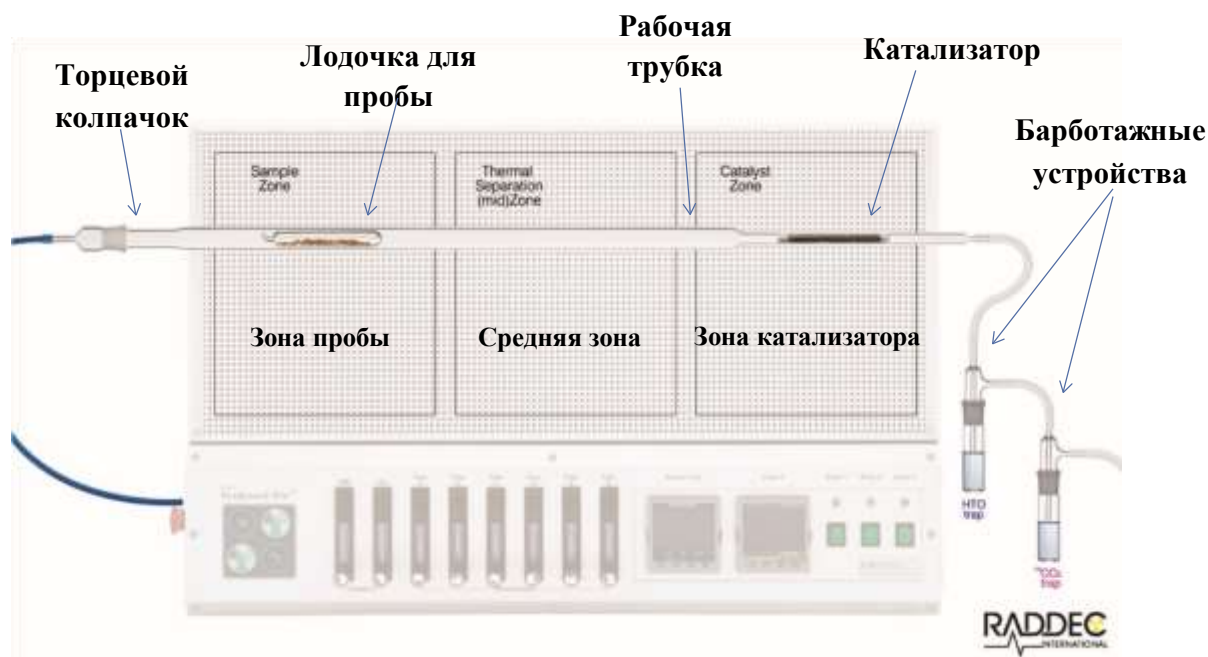


Рисунок 3 – Конфигурация системы Pyrolyser-6 Trio

Принцип работы на Pyrolyser-6 Trio

В систему включены 6 трубок с кварцевым покрытием, которые проходят через три смежных печи. В эти трубки загружаются рабочие трубки из кварцевого стекла с внутренним диаметром 30 мм, сужающиеся с одного конца для размещения таблеток катализатора. Пробу помещают в лодочку из кварцевого стекла, которые затем переносятся в середину печи с зоной пробы в рабочей трубке из кварцевого стекла. Концевое гнездо из боросиликата прикрепляют к барботеру для определения ^3H , заполненного улавливающей средой в виде 20 мл 0,1М HNO_3 . При исследовании ^{14}C подключается дополнительный барботер, содержащий 20 мл уловителя, в качестве которого используется CARBO-SORB®E, после барботеров, предназначенных для определения ^3H . Воздух пропускается по пробе, которая в свою очередь поступательно нагревается до максимальной температуры, используя заданный цикл линейного изменения. К концу прогона дополнительное количество кислорода перемешивается с воздухом для полного окисления. Печь средней зоны автоматически включается, когда печь с зоной пробы достигает указанной температуры срабатывания (по умолчанию 600°C) и затем быстро линейно изменяется до заданного предела.

Продукты горения пробы пропускаются по катализатору из 0,5% оксида алюминия и платины, нагретого до 800°C в печи с зоной катализатора. Все тритиевые и меченные по ^{14}C формы нахождения преобразуются в тритиевую воду и радиоактивную двуокись углерода ($^{14}\text{CO}_2$), захват которых происходит в барботажных устройствах, заполненных

соответствующими улавливающими средами. Активность радионуклидов в барботерах затем определяют методом жидкостно-сцинтилляционного счета.

Эффективное горение проб сильно зависит от профиля линейного изменения, применяемого к печи с зоной проб. Быстрое нагревание пробы приводит к отсутствию контроля за горением, неэффективному захвату радионуклидов в барботажных устройствах и возможному повреждению рабочих трубок из кремниевого стекла. Наиболее приемлемый цикл нагрева будет зависеть от матрицы проб и формы ^3H / ^{14}C в пробе. Материалы исследования профилей эволюции ^3H опубликованы в разных научных литературах. Схожих исследований по ^{14}C опубликовано не было [8].

Pyrolyser-6 Trio имеет 8 предустановленных программ, разработанных для сжигания различных типов проб, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Программы, предварительно загруженные в контроллер

№ программы	Название	Максимальная температура (°C)	Применение
1	Normal	600	Общее использование (максимальную температуру для ^{14}C следует повысить до 900°C)
2	Fast	600	Пробы с низким содержанием органического вещества (например, бетоны) которые могут быстро нагреваться (снижая время прогона)
3	Organic	500	Пробы с высоким содержанием органического вещества, требующие медленного нагрева.
4	Wet asbestos	600	Пробы асбеста со значительным содержанием воды
5	Dry asbestos **	600	Сухой асбест
6	Graphite	900	Графит и негорючие пробы, для которых требуется анализ на ^{14}C .
7	Bioconc	900	Бетон для биологического экранирования
8	Fish	800	Пробы рыбы и другие органические пробы/ пробы с высоким содержанием жира

Исследования ^{14}C в стандартных образцах и почве проведены с помощью программ «Normal» и «Graphite» с продолжительностью анализа 4 и 6 часов, соответственно (Рисунок 4).



а)



б)

Рисунок 4 – Анализ стандартного образца ^{14}C (а) и проб почвы с площадки «Опытное поле» (б) на Pyrolyser-6 Trio

2.3 Проведение β -спектрометрических измерений

Для определения ^{14}C использовался альфа-бета радиометр SL-300 (Рисунок 5).



Рисунок 5 – Альфа-бета радиометр SL-300

Перед началом работ, проведена калибровка радиометра по эффективности с использованием калибровочных стандартов ^{14}C фирмы PerkinElmer и построена кривая гашения, которая хорошо согласуется с заводской (Рисунок 6).

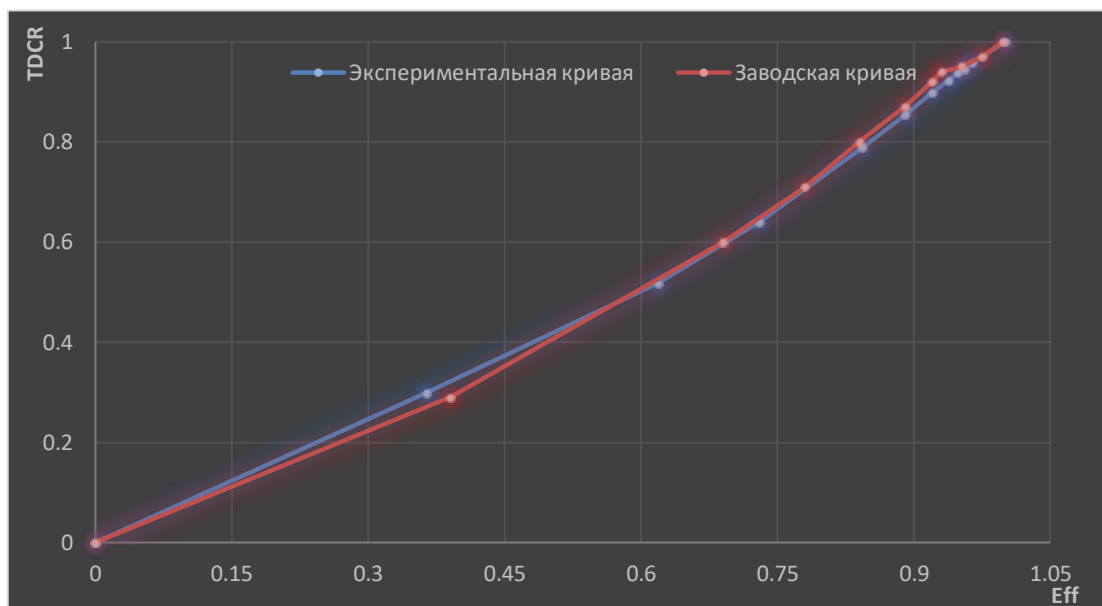


Рисунок 6 – Калибровочные кривые гашения

Измерения проведены на основе аттестованной методики [9]. Подготовка счетных образцов проводилась следующим образом: с барботеров ^{14}C отбиралась аликвота объемом 7 мл, которая смешивалась с 12 мл сцинтилляционной жидкости PERMAFLUOR® E+. Время измерения одного образца составляло 300 мин. Минимальная детектируемая активность составила до 4 Бк/кг.

3 Результаты и обсуждения

3.1 Оценка точности радиоуглеродного анализа с применением стандартных образцов

Поскольку невозможно определить конкретный химический выход для каждого анализа пробы, важно чтобы производительность процедуры сжигания (включая производительность катализатора) оценивалась посредством анализа сертифицированных стандартов. Также важно, проводить мониторинг общего накопления фоновых уровней активности. Для извлечения ^{14}C на приборе RyoLyser-6 Trio, в качестве стандартов возможно использование сертифицированного ^{14}C - тимидина или ^{14}C -карбоната. В наших исследованиях применен стандартный образец ^{14}C , представленный в виде неорганического соединения карбоната натрия. Начальная активность ^{14}C в стандартном образце до сжигания составляла 3430 ± 515 Бк/л. Оценка точности проводилась при изменении 2-х основных составляющих анализа, которые могут оказать наибольший эффект на конечный результат. Это подложка, на которую наносится стандартный раствор и температура.

В качестве подложек были выбраны песок, промытый 10 % раствором соляной кислоты и фильтровальная бумага (фильтр). Масса песка составила 3 г, размеры фильтровальной бумаги – 10x40 мм. На выбранные подложки наносились стандартные растворы объемом 0,5 мл при помощи градуированной пипетки.

Для оценки возможного влияния температурного фактора на химический выход ^{14}C , эксперименты проводилась при температуре 600°C и 900°C. В результате экзотермической реакции взаимодействия углекислого газа с абсорбентом образуется карбат, который смешивается с сцинтиллятором ^{14}C PERMAFLUOR® E+. Чтобы обеспечить эффективную степень извлечения ^{14}C эксперименты проводились при оптимальных условиях: высокая температура достигалась в результате медленного нагрева прибора.

Результаты исследований ^{14}C с применением стандартного образца представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение концентрации ^{14}C в стандартных образцах после сжигания

№	Тип подложки	Удельная активность ^{14}C , Бк/кг T= 600°C	Химический выход ^{14}C , %	Удельная активность ^{14}C , Бк/кг T= 900°C	Химический выход ^{14}C , %
1	песок	3050±460	89	3490±520	102
2	песок	3100±470	90	3170±480	93
3	песок	3120±470	91	3140±470	91
4	фильтр	3300±500	96	3210±480	94
5	фильтр	3370±510	98	3170±480	92
6	фильтр	3150±470	92	3300±500	96
			93		95

Согласно полученным результатам, для эффективного извлечения ^{14}C из водных образцов в качестве подложки допустимо использовать как песок, так фильтровальную бумагу. Второй фактор, который учитывался при проведении эксперимента, это температура сжигания. В целом, выход ^{14}C при выбранных температурах составлял в среднем 94 %. Для дальнейших исследований жидких образцов, представленных неорганическими соединениями, выбрана температура 600°C.

Химический выход ^{14}C в зависимости от различных факторов графически представлен на рисунке (Рисунок 7).

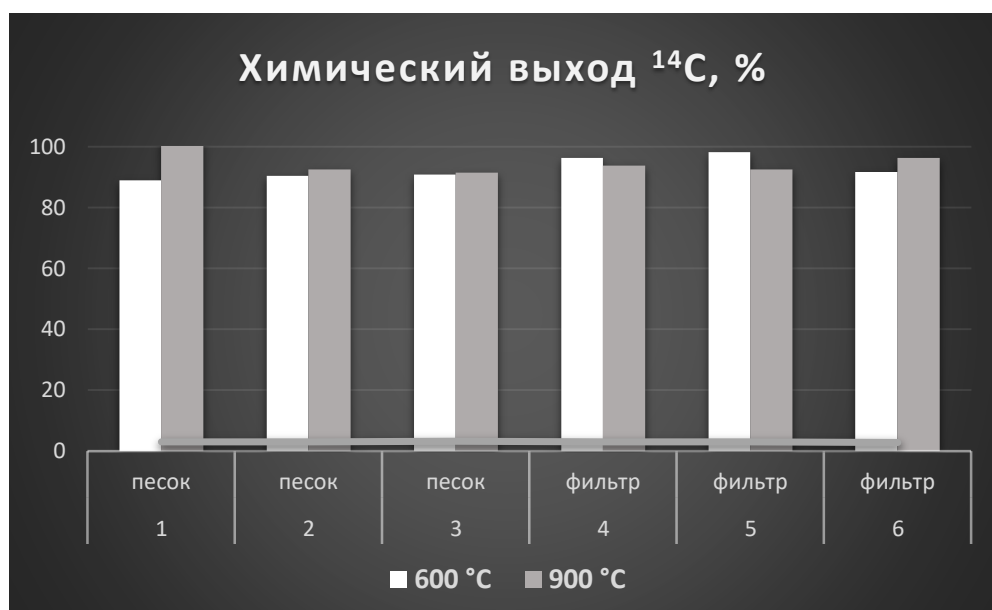


Рисунок 7 – Химический выход ^{14}C при разных условиях (Т, °С; тип подложки)

3.2 Методические подходы к определению концентраций ^{14}C с применением системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio

Масса образца и тип подложки

Особое внимание уделяется минимизации рисков, связанных с разбрызгиванием жидких проб в рабочих трубках во время их сжигания. При анализе растворов следует использовать минимальный объем образца: 0,5-1,0 мл. Песок в кварцевых лодочках необходимо равномерно распределять по поверхности, для минимального объема проб достаточно использование песка массой около 3 г. По результатам исследований следует, что для анализа жидких образцов можно использовать фильтры с оптимальными размерами 10x40 мм. Необходимо отметить, что ограничение для размеров проб исходит из ограничения по мощности барботера CARBO-SORB®E по CO_2 . При проведении анализа ^{14}C необходимо анализировать только 2-3г проб с высоким содержанием органики или 0,5 г чистого углерода, как в случае со стандартными образцами.

Условия измерения счетного образца

Сцинтилляционный раствор PERMAFLUOR® E+ может физически исказить измерительные ампулы, изготовленные из полимера, поэтому они не годятся для использования. В ходе экспериментов использовались стеклянные ампулы, которые позволяют визуально контролировать сцинтилляционную среду. Для предотвращения люминесцентных помех измерительные ампулы следует держать в темноте и не подвергать действию прямых солнечных лучей или люминесцентного излучения, особенно перед использованием.

Оптимальные параметры сжигания проб

Как выше было отмечено, на эффективность извлечения ^{14}C могут повлиять матрица образца, а также температура и длительность сжигания пробы. В ходе проведенных исследований установлено, что эффективное извлечение ^{14}C из неорганических соединений обеспечивается при температуре 600°С, длительность анализа 4 ч. Но для органических веществ

следует повысить температуру до 900°C, так как именно при такой температуре происходит полное количественное восстановление ¹⁴C, длительность анализа 6 ч.

3.3 Исследование распределения ¹⁴C в почвах технических площадок «Опытного поля»

Так как почва представляет собой многокомпонентную систему, важнейшей составляющей частью которой является органическое вещество, проведен сравнительный анализ химического выхода ¹⁴C при разных параметрах сжигания проб. В ходе проведенных исследований получены количественные данные по ¹⁴C, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Определение концентрации ¹⁴C в пробах почв после сжигания

№	Исследовательские участки	Удельная активность ¹⁴ C, Бк/кг «Normal» - 600°C	Удельная активность ¹⁴ C, Бк/кг «Graphite» - 900°C
1	П1 центр	480±70	590±100
2	П3 Т5	170±20	200±30
3	П5 Т5	160±20	660±30
4	П3-П5 уч4	150±20	270±90
5	В1 Т4	190±30	290±40
6	П3-П5 уч3	160±20	220±40
7	П3 центр	1640±250	2440±370

По результатам исследований следует, что относительно высокая степень извлечения ¹⁴C из почвы обеспечивалась при использовании программы «Graphite». Вторым ключевым моментом при исследованиях являлся неравномерный характер распределения ¹⁴C в почвах исследовательских участков. Наиболее высокое содержание исследуемого радионуклида зафиксировано непосредственно в эпицентрах площадки «Опытное поле».

Сравнительные анализ данных по ¹⁴C графически представлен на рисунке (Рисунок 8).

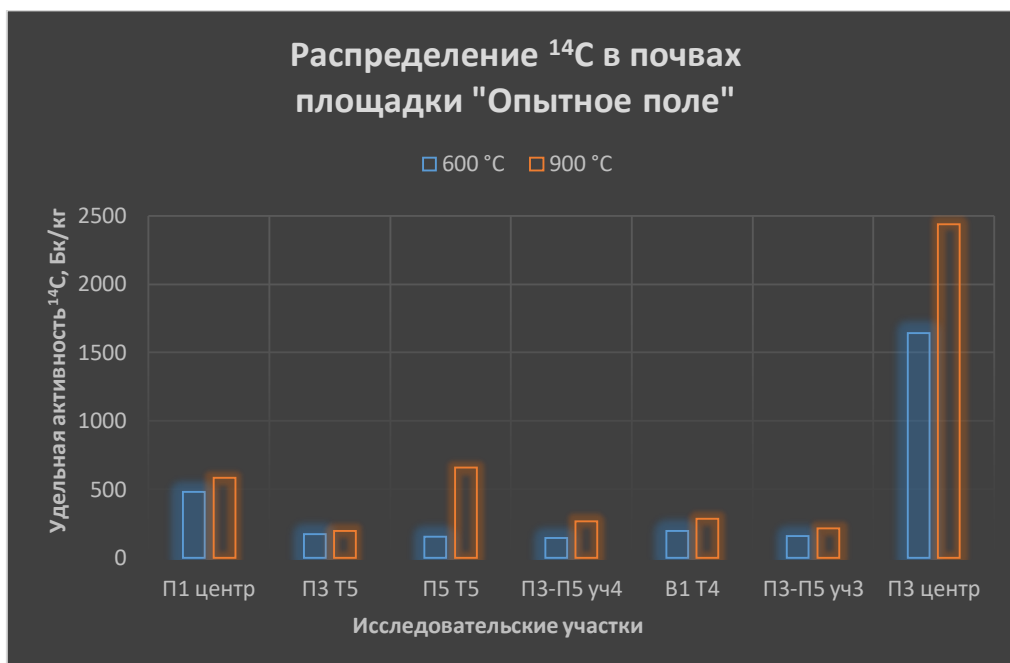


Рисунок 8– Распределение ^{14}C в почвах площадки «Опытное поле»

ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка точности радиоуглеродного анализа с использованием стандартных образцов. Производительность процедуры сжигания на Pyrolyser-6 Trio оценивалась посредством анализа сертифицированных стандартов радиоуглерода. Химический выход ^{14}C при сжигании сертифицированного стандарта в виде ^{14}C -карбоната составил в среднем 94 %.

2. Разработаны методические приемы определения концентраций ^{14}C с применением системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio. Установлено, что при анализе водных образцов на приборе предпочтительно использовать подложки в виде песка или фильтра, так как в обоих случаях наблюдается эффективное извлечение ^{14}C . Образцы проб, представленные в виде неорганических соединений, необходимо анализировать при температуре 600°C, при таких параметрах минимизируются потери во время сжигания. Оптимальными условиями сжигания проб с высоким содержанием органического вещества является 900°C, при этом продолжительность анализа увеличивается до 6 ч.

3. Получены количественные данные по содержанию ^{14}C в почвах технических площадок «Опытного поля». На исследуемой площадке выявлена неравномерность распределения концентраций указанного радиоизотопа. Наиболее высокое содержание ^{14}C зафиксировано непосредственно в эпицентрах площадки «Опытное поле», которое достигало до 2440 Бк/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение концентраций ^{14}C с помощью системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio потребовало создания методических подходов, гарантирующих получение достоверных данных. Поэтому одной из первоочередных задач являлось использование сертифицированных стандартов для контроля качества результатов исследований.

В целом, из экспериментальных данных следует, что радиоактивное загрязнение местности на площадке «Опытное поле» не является повсеместным, а приурочено непосредственно к местам проведения испытаний – эпицентрам и эпицентральной зоне. Предположительно, основными путями образования ^{14}C в процессе проведения испытаний могут являться нейтронно-активационные процессы.

Так как распределение ^{14}C в почве может отражать долговременный характер радиоактивных загрязнений окружающей среды, то дальнейшее комплексное исследование его распределения в растительных и водных объектах позволяет выявить потенциальные источники радиоактивности и проследить характер загрязнений окружающей среды во времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колосов И.Л., Родионов А.А., Г.И. Лучина и др. Радиоуглеродный и тритиевый мониторинг системы гидросфера-биосфера в районе размещения Белорусской АЭС- Журнал ЛІТАСФЕРА 1 (48) 2018. С. 86-94.
2. Михайлов Н.Д., Колковский В.М., Павлова И.Д., Лучина Г.И. Радиоуглерод в ландшафтах Беларуси// Літасфера.2003. № 2 (19). С. 130-139.
3. Рублевский В.П., Голенецкий С.П., Кирдин Г.С. Радиоактивный углерод в биосфере. – М.: Атомиздат, 1979. – С. 150 – 152.
4. Калашникова Д.А., Волков Ю.В., Маркелова А.Н. и др. Радиоуглерод и тритий в объектах окружающей среды. Практическое использование этих радиоизотопов - Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября 2016 г. – С. 274-277.
5. Семипалатинский испытательный полигон. Современное состояние. – Издание 3-е, переработанное и дополненное. – Павлодар: Дом печати, 2017 г. – С. 6-8.
6. Чеботина М.Я., Пономарева Р.П. Особенности накопления радиоуглерода в компонентах природной среды – Уральский геофизический вестник № 4 (13), 2007 г. С. 86-94.
7. Кулькова М.А. Радиоуглерод (^{14}C) в окружающей среде и метод радиоуглеродного датирования Учебно-методическое пособие Санкт-Петербург 2011 С. 18.
8. Operating Manual Pyrolyser 4 & 6 models. - Raddec International Ltd - P. 33.
9. Качество воды. Определение активности ^{14}C . Метод жидкостного сцинтилляционного счета. Международный стандарт ISO 13162. – I изд. 01.11.2011. – С. 2-5.