

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-3-9>

УДК 631.41: 504.53

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К ИЗУЧЕНИЮ РАДИОУГЛЕРОДА В ПОЧВЕ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Раимканова А.М., Ляхова О.Н., Айдарханова А.К., Сержанова З.Б.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

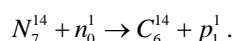
E-mail для контактов: [raimkanova@nnc.kz](mailto:raimkanova@nnc.kz)

В статье описаны экспериментальные работы, основанные на жидкосцинтилляционном методе определения концентрации  $^{14}\text{C}$ . Разработаны методические подходы радиоуглеродного анализа с применением системы для прокаливания и озоления проб *Pyrolyser-6 Trio*. Проведена оценка точности проведенных исследований посредством анализа сертифицированных стандартов радиоуглерода. В результате экспериментальных работ впервые получены количественные данные по содержанию  $^{14}\text{C}$  в почве испытательной площадки «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона. На исследуемой территории выявлена неравномерность распределения концентрации радиоуглерода, наиболее высокое содержание которого зафиксировано непосредственно в эпицентрах мест проведения наземных ядерных испытаний.

**Ключевые слова:** радиоуглерод, почва, жидкосцинтилляционный метод, «Опытное поле», СИП, *Pyrolyser-6 Trio*, альфа-бета радиометра SL-300.

### ВВЕДЕНИЕ

Радиоуглерод ( $^{14}\text{C}$ ) – долгоживущий изотоп с периодом полураспада 5730 лет. В природных условиях он образуется в верхних слоях атмосферы под воздействием космического излучения. Стабильный изотоп азота ( $^{14}\text{N}$ ) в атмосфере подвергается воздействию нейтронов космического происхождения, в результате чего образуется изотоп углерода  $^{14}\text{C}$  по реакции:



Радиоуглерод техногенного происхождения («бомбовый углерод») 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 1) [1].

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. Вследствие того, что  $^{14}\text{C}$  может накапливаться и оставаться долгое время в биотических и абиотических компонентах экосистем, исследование его распределения в природных объектах является составной частью радиационного мониторинга, а также позволяет проводить ретроспективный и текущий анализ состояния окружающей среды [2].

Существуют понятия локального и глобального загрязнения радиоуглеродом. Источником локального загрязнения можно рассматривать не только атомный взрыв, но и каждую АЭС, предприятия ЯТЦ, изотопные производства по получению препаратов, меченных  $^{14}\text{C}$ , научно-исследовательские учреждения. Локальные очаги загрязнения  $^{14}\text{C}$  могут оказывать как вблизи такого источника, на расстоянии 1–2 км от него, так и на расстоянии 20–30 км. Радиоуглерод, образующийся в процессе рабочего цикла ядерного реактора, частично или полностью выбрасывается в окружающую среду в виде газоаэрозолей, а содержащийся в топливе реактора – с твердыми и жидкими радиоактивными отходами [3].

Глобальное радиоуглеродное загрязнение окружающей среды связано с развитием атомной энергетики в целом и ядерными испытаниями. При ядерных испытаниях  $^{14}\text{C}$  возникает путём захвата избыточных нейтронов атмосферным азотом. Взрыв ядерного боеприпаса мощностью 1 Мт приводит к образованию  $3,2 \cdot 10^{26}$  атомов  $^{14}\text{C}$ . Количество образовавшегося  $^{14}\text{C}$  зависит от типа бомбы, её конструкции и используемых материалов, а также мощности. За период 1945–1980 гг. образовалось 249,2 ПБк  $^{14}\text{C}$ , что в 1,6 раза больше активности  $^{14}\text{C}$  природного происхождения в тропосфере [4].

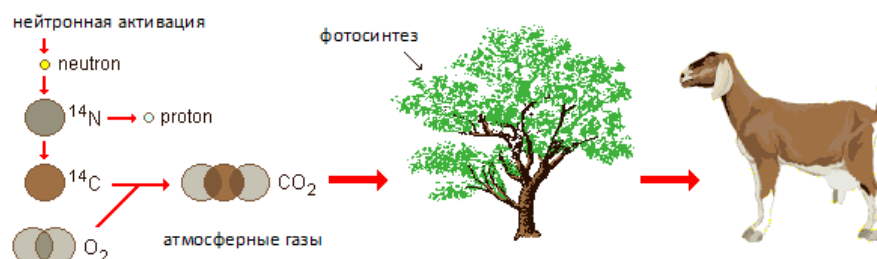


Рисунок 1. Круговорот радиоуглерода в природе

С этой точки зрения изучение распределения  $^{14}\text{C}$  в окружающей среде представляется интересным на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). На СИП были проведены самые разнообразные испытания как по характеру проведения (наземные, воздушные, в тоннелях, в скважинах, экскавационные), так и по типу ядерного устройства (ядерные, термоядерные) и характеру энерговыделения (сверхмалые, малые, средней и большой мощности), что в сочетании с различными ландшафтно-геологическими условиями местности сформировало весьма разнообразную картину радиоактивного загрязнения.

Чтобы установить закономерности в перераспределении радионуклидов в природных компонентах и выполнить прогнозные оценки таких процессов, важно знать элементы природной среды, отвечающие за процессы накопления и миграции. В наземных пищевых цепочках, приводящих к поступлению радионуклидов в организм человека, почва является наиболее емким и инерционным звеном, вследствие чего от скорости миграции радионуклидов в почве во многом зависит скорость их распространения во всей цепочке (атмосфера - почва - растения - человек; атмосфера - почва - растения - животные - человек).

Существует два основных метода по определению содержания радиоуглерода в составе природных объектов — с применением ускорительной масс-спектрометрии (AMS) и с использованием сцинтилляционных счетчиков для определения его активности [5].

При использовании ускорительной масс-спектрометрии из полученных препаратов подготавливают графитовые мишени, которые затем помещаются в ускоритель для определения количества  $^{14}\text{C}$ . Метод позволяет получать точную информацию об изотопном составе образцов миллиграммового и микрограммового веса. Однако это оборудование весьма дорогое и достаточно сложное в управлении, что далеко не все лаборатории могут себе позволить использование данного метода.

При применении сцинтилляционного метода в бензоле (бензольный метод) полученный из образца углеродсодержащий газ превращают в бензол, в который добавляют сцинтиллятор. Процесс подготовки проб для получения карбида лития и бензола требует сложных конструкции установок для синтеза данных веществ. Основным недостатком метода являются довольно трудоемкие операции по подготовке образца.

Разновидностью сцинтилляционного метода также является методика прямой абсорбции углекислого газа сцинтиллятором. При данном методе используется каталитическое сжигание образца и пропускание углекислого газа через специальный сорбент, захватывающий углекислый газ и образующий нелетучее соединение — карбамат, который при смешивании с сцинтиллятором представляет собой счетный обра-

зец. Данный принцип лежит в основе работы *Pyrolyser-6 Trio*, предназначенного для автоматизированной подготовки проб, используемых при жидкостном сцинтилляционном анализе.

Изучение уровня концентрации радиоуглерода с целью осуществления радиационного контроля и радиоэкологического мониторинга до настоящего времени в Казахстане не проводились. Прежде всего, это обусловлено высокой стоимостью оборудования для определения содержания  $^{14}\text{C}$ . Также, определенные затруднения у исследователей вызывают достаточно трудоемкие и затратные по времени методы подготовки проб и проведения измерений.

Цель данной работы заключалась в разработке и опробовании методических подходов исследования радиоуглерода в почве жидкостно-сцинтилляционным методом.

Исходя из цели были выделены следующие задачи:

- разработать методические приемы определения  $^{14}\text{C}$  путем установления основных параметров, влияющих на химический выход  $^{14}\text{C}$  при окислительных процессах;

- исследовать уровни содержания  $^{14}\text{C}$  в почве испытательной площадки «Опытное поле».

Результаты данной работы будут в дальнейшем использоваться для определения уровня концентрации радиоуглерода в местах проведения ядерных испытаний с целью проведения радиоэкологической оценки, а также в объектах окружающей среды с целью изучения климатических изменений в регионе.

## 1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1 Объекты исследований

Для разработки методических подходов к исследованию  $^{14}\text{C}$  были проведены модельные эксперименты с образцами песка, предварительно промытого раствором соляной кислоты, позволяющей удалить из песка подвижные органические соединения углерода, которые могли бы повлиять на химический выход  $^{14}\text{C}$ .

Ряд экспериментов поставлен на реальных образцах почв с площадки «Опытное поле», где было проведено 116 ядерных испытаний (86 воздушных и 30 наземных).

В качестве участков исследований выбраны основные технические площадки «Опытного поля» — П-1, П-2, П-3, П-5, П-7 (рисунок 2). На технических площадках (П-1, П-3, П-5) 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 [6].

На технических площадках П-2, П-7 проводились гидродермные и гидродинамические эксперименты, в процессе которых практически отсутствовало значи-

мое ядерное энерговыделение. Это привело к образованию небольшого количества «продуктов деления», поэтому радиационное воздействие на окружающую среду в ходе их осуществления, в основном, происходило за счет диспергирования ядерных взрывчатых веществ (делящихся материалов), входящих в состав взрывных устройств.

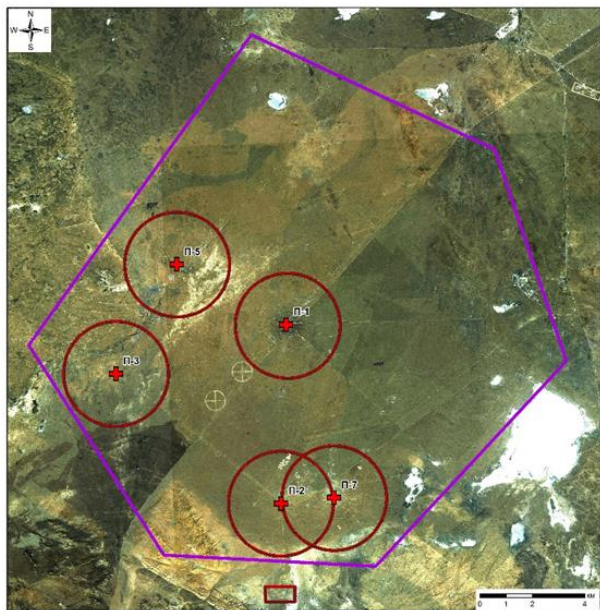


Рисунок 2. Технические площадки на «Опытном поле»

На каждом участке была отобрана одна проба на глубину 0–10 см с площади 100 см<sup>2</sup>. Пробы почвы собирались в чистые полиэтиленовые пакеты. Отобранные образцы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С, удаляли включения (камни, корни растений и т.п.) и гомогенизировали.

### 1.2 Методология исследований

Общая методология исследований заключалась в определении концентрации <sup>14</sup>С методом жидкостного сцинтилляционного счета. Для чего на начальном этапе проводилась калибровка альфа-бета радиометра *SL300* по эффективности с использованием калибровочных стандартов <sup>14</sup>С.

Подготовка проб на радиоуглеродный анализ проводилась методом прокаливания и озоления. Для этого использовалась автоматизированная система *Pyrolyser-6 Trio*, специально разработанная для эффективного извлечения <sup>3</sup>Н, <sup>14</sup>С, а также других летучих радионуклидов из различных матриц (почва, донные отложения, пищевые продукты, биота, бетон и другие строительные материалы, металлы и биопробы).

В систему включены 6 трубок с кварцевым покрытием, которые проходят через три смежных печи (рисунок 3). В эти трубки загружаются рабочие трубки из кварцевого стекла с внутренним диаметром 30 мм, сужающиеся с одного конца для размещения

таблеток катализатора. Пробы помещают в лодочку из кварцевого стекла, которые затем переносятся в середину печи с зоной пробы в рабочей трубке, также выполненной из кварцевого стекла. Концевое гнездо из боросиликата прикрепляют к барботеру для определения <sup>3</sup>Н, заполненного улавливающей средой в виде 0,1М HNO<sub>3</sub>. При исследовании <sup>14</sup>С подключается дополнительный барботер, содержащий уловитель <sup>14</sup>С, в качестве которого используется *CARBO-SORB®E*. Воздух пускается 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. Продукты горения пробы пропускаются по катализатору из 0,5% оксида алюминия и платины, нагретого до 800 °С в печи с зоной катализатора. Радионуклидные компоненты преобразуются в тритиевую воду и радиоактивную двуокись углерода (<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>), захват которых происходит в барботажных устройствах, заполненных соответствующими химическими уловителями.

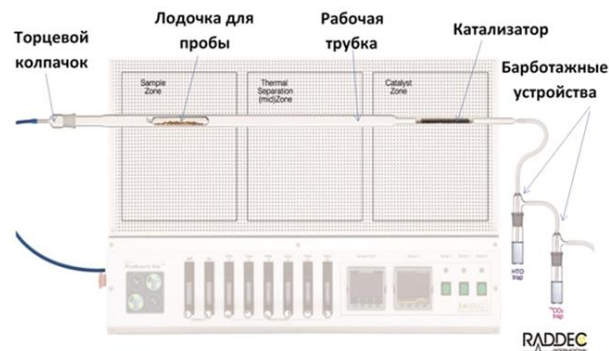


Рисунок 3. Принципиальная схема *Pyrolyser-6 Trio*

Эффективное горение проб 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 кремниевое стекла. Наиболее приемлемый цикл нагрева будет зависеть от матрицы проб и формы нахождения радионуклидов в пробе. *Pyrolyser-6 Trio* имеет 8 предустановленных программ, разработанных для сжигания различных типов образцов (таблица 1).

Для оценки возможного влияния температурного фактора на химический выход <sup>14</sup>С и выбора оптимального температурного режима, эксперименты проведены с помощью программ «Normal» и «Graphite» с продолжительностью анализа 4 и 6 часов, соответственно. Данные программы являются наиболее подходящими для анализа почвы, так как обеспечивается эффективное горение проб.

Таблица 1. Программы, предварительно загруженные в контроллер Pyrolyser-6 Trio

№ программы	Название	Максимальная температура (°C)	Применение
1	Normal	600	Общее использование
2	Fast	600	Пробы с низким содержанием органического вещества, которые могут быстро нагреваться
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 $^{14}\text{C}$
7	Bioconc	900	Бетон для биологического экранирования
8	Fish	800	Пробы рыбы и другие органические пробы / пробы с высоким содержанием жира

Производительность процедуры сжигания (включая производительность катализатора) оценивалась посредством анализа сертифицированных стандартов. Также проводился мониторинг общего накопления фоновых уровней активности. Для извлечения  $^{14}\text{C}$  на приборе *Pyrolyser-6 Trio*, в качестве стандартов возможно использование сертифицированного  $^{14}\text{C}$ -тимидина или  $^{14}\text{C}$ -карбоната. В наших исследованиях применен стандартный образец  $^{14}\text{C}$ , представленный в виде неорганического соединения карбоната натрия. Начальная активность  $^{14}\text{C}$  в стандартном образце до сжигания составляла  $3430 \pm 515$  Бк/л.

В некоторых случаях горение жидких проб, а также проб почвы, богатых органическими веществами, может привести к разбрызгиванию, стремительному, неконтролируемому образованию газообразных продуктов распада, в результате чего может произойти разрыв рабочих кварцевых трубок. Учитывая это, существуют ограничения по массе анализируемой пробы и ее положе. С целью обеспечения стабильного горения жидких проб были использованы подложки в виде песка, промытого 10% раствором соляной кислоты, и фильтровальной бумаги. Масса песка составила 3 г, размеры фильтровальной бумаги –  $10 \times 40$  мм. На выбранные подложки наносились стандартные растворы объемом 0,5 мл при помощи градуированной пипетки.

На эффективное извлечение  $^{14}\text{C}$  при прокаливании и озонении проб на *Pyrolyser-6 Trio* могут повлиять абсорбирующие свойства реагента *CARBO-SORB®E*. В ходе экспериментальных исследований изучено влияние количества подаваемого абсорбента. Объемы *CARBO-SORB®E*, вводимые в барботажные устройства, составили 10 мл, 15 мл, 20 мл.

Таким образом, оценка точности радиоуглеродного анализа проводилась при изменении 3-х основных

составляющих анализа, которые могут оказать наибольший эффект на конечный результат – это матрица образца, температурный режим и количество подаваемого абсорбента. Учет и контроль данных параметров гарантирует получение высококачественных и воспроизводимых проб для жидкосцинтилляционного метода анализа.

Бета-спектрометрические измерения концентрации  $^{14}\text{C}$  проводились на основе аттестованной методики [7]. Определение удельной активности  $^{14}\text{C}$  в полученных образцах осуществлялось с использованием высокочувствительного альфа-бета радиометра *SL-300*. В начале исследований выполнена калибровка радиометра по эффективности с использованием калибровочных стандартов  $^{14}\text{C}$  фирмы *PerkinElmer* с построением кривой гашения, которая хорошо согласуется с заводской (рисунок 4).

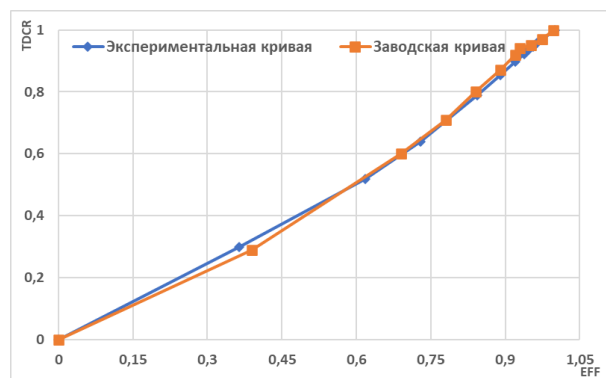


Рисунок 4. Калибровочные кривые гашения

Для подготовка счетных образцов с барботажных устройств  $^{14}\text{C}$  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 4 Бк/кг.

## 2 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

### 2.1 Параметры, влияющие на химический выход $^{14}\text{C}$ при окислительных процессах

Результаты экспериментов, проведенных с учетом влияния матрицы образца и температурного режима на эффективность извлечения  $^{14}\text{C}$ , представлены в таблице 2.

Из результатов проведенных исследований следует, что при анализе стандартного образца  $^{14}\text{C}$  можно использовать подложки в виде песка и фильтра, так как в обоих случаях наблюдается эффективное извлечение  $^{14}\text{C}$ . Эти вещества обладают впитывающими свойствами, что обеспечивает стабильное горение стандартного образца. Использование данных программ окислительного процесса показывает высокий химический выход  $^{14}\text{C}$ , который в среднем составил 93–94%. Однако, для дальнейших исследований стандартных растворов можно использовать более экспрессный метод с использованием программы «Normal».



# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К ИЗУЧЕНИЮ РАДИОУГЛЕРОДА В ПОЧВЕ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Таблица 2. Влияние матрицы образца и температурного режима на химический выход  $^{14}\text{C}$

№	Тип подложки	Удельная активность $^{14}\text{C}$ , Бк/кг «Normal» (T= 600°C)	Химический выход $^{14}\text{C}$ , %	Удельная активность $^{14}\text{C}$ , Бк/кг «Graphite» (T= 900°C)	Химический выход $^{14}\text{C}$ , %
1	песок	3050±460	89	3490±520	100
2	песок	3100±470	90	3170±480	93
3	песок	3120±470	91	3140±470	91
1	фильтр	3300±500	96	3210±480	94
2	фильтр	3370±510	98	3170±480	92
3	фильтр	3150±470	92	3300±500	96
Среднее значение:			93		94

В результате экзотермической реакции взаимодействия углекислого газа с абсорбентом CARBOSORB®E в барботажных устройствах образуется карбамат, который при смешивании со сцинтиллятором  $^{14}\text{C}$  PERMAFLUOR® E+, представляет собой счетный образец. Объемы абсорбента, вводимые в барботажные устройства, составили 10 мл, 15 мл, 20 мл. Из результата анализа, следует, что при исследовании повышенных концентраций  $^{14}\text{C}$  оптимальным объемом абсорбента является 20 мл (рисунок 5).

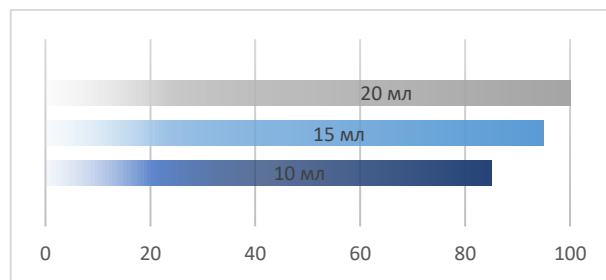


Рисунок 5. Химический выход  $^{14}\text{C}$  в зависимости от объема абсорбента

## 2.2 Определение уровня содержания $^{14}\text{C}$ в почве технических площадок «Опытного поля»

Для апробации предлагаемого метода было принято решение провести определение уровня содержания  $^{14}\text{C}$  в почве в местах проведения ядерных испытаний на технических площадках «Опытного поля». Так как почва представляет собой многокомпонентную систему, важнейшей составляющей частью которой является органическое вещество, подготовка проб проводилась при программе «Graphite» (T = 900 °C). В ходе проведенных исследований получены количественные данные по  $^{14}\text{C}$ , представленные на рисунке 6.

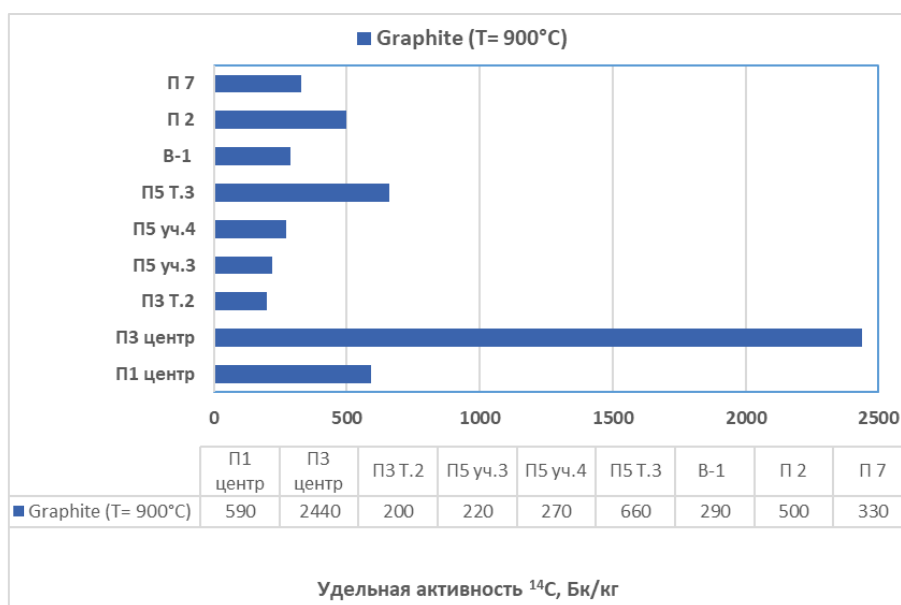


Рисунок 6. Распределение  $^{14}\text{C}$  в почвах площадки «Опытное поле»

Из результатов исследований следует, что для проб с высоким содержанием органического вещества следует использовать температурный режим программы «Graphite», так как при таких условиях обеспечивается эффективный выход  $^{14}\text{C}$ . Вторым немаловажным выводом является установление неравномерного характера распределения  $^{14}\text{C}$  в почвах исследовательских участков. Наиболее высокое содержание радиоуглерода зафиксировано в эпицентрах площадки «Опытное поле», которое достигало 2500 Бк/кг.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение концентраций  $^{14}\text{C}$  с помощью системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Tgю потребовало разработки методических подходов, гарантирующих получение достоверных данных. Одной из первоочередных задач являлось использование сертифицированных стандартов для контроля качества результатов исследований.

Важным моментом при разработке методического подхода исследования  $^{14}\text{C}$  являлось выявление основных факторов, влияющих на радиоуглеродный

анализ. В ходе проведенных исследований определены особенности анализа растворов и проб почвы. Анализ жидких образцов показал эффективность использования подложек в виде фильтра и песка. Альтернативной программой для прокаливания и озоления жидких образцов на Pyrolyser-6 Trio предложена экспрессная программа «Normal» ( $T=600^{\circ}\text{C}$ ) с продолжительностью анализа 4 ч. Пробы почв с высоким содержанием органического вещества рекомендуются исследовать по программе «Graphite» ( $T=900^{\circ}\text{C}$ ), которая обеспечивает полное количественное восстановление  $^{14}\text{C}$  из исследуемого образца. Также, в ходе экспериментальных работ установлено, что оптимальный объем химического уловителя CARBOSORB®E в барботажных устройствах должен составлять 20 мл.

Таким образом, методические подходы, разработанные и апробированные на натурных образцах почв с площадки «Опытное поле», показали значимость проводимых исследований. По результатам экспериментов на исследуемой площадке определены повышенные концентрации  $^{14}\text{C}$ , достигающие 2500 Бк/кг. Более того, выявлен неравномерный характер распределения  $^{14}\text{C}$  в почвах: радиоактивное загрязнение местности приурочено непосредственно к местам проведения испытаний – эпицентрам и эпицентральной зоне. Данные исследования требуют продолжения работ по изучению вертикального распределения  $^{14}\text{C}$  по почвенному профилю и пополнению базы данных по радиоуглеродному мониторингу исследуемой территории.

Разработанный методический подход будет в дальнейшем использован для проведения комплексных исследований распределения  $^{14}\text{C}$  в почве, растительности и водных объектах, что позволит выявить потенциальные источники радиоактивности и проследить динамику радиоактивного загрязнения окружающей среды во времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айтмухамбетов А. А., Коломеев Е. В., Мансуров К. Ж. Радиационные аспекты испытания атомного оружия в атмосфере; Радиационные аспекты от испытания атомного оружия в атмосфере // Вестник КазГУ. Серия физика. – 1998. – № 4. – С. 51–53.
2. Калашникова Д. А., Волков Ю. В., Маркелова А. Н. и др. Радиоуглерод и тритий в объектах окружающей среды // Практическое использование этих радиоизотопов: Матер. V Междунар. конф., 13–16 сентября 2016 г. – Томск, 2016. – С. 274–277.
3. Чеботина М. Я., Пономарева Р. П. Особенности накопления радиоуглерода в компонентах природной среды // Уральский геофизический вестник. – 2007. – № 4 (13). – С. 86–94.
4. Кулькова М. А. Радиоуглерод ( $^{14}\text{C}$ ) в окружающей среде и метод радиоуглеродного датирования: учебно-методическое пособие. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 8.
5. Зазовская Э. П. Радиоуглеродное датирование – современное состояние, проблемы, перспективы развития и использование в археологии // Вестник археологии, антропологии и этнографии. – 2016. – № 1 (32). – С. 158.
6. Семипалатинский испытательный полигон. Современное состояние. – Изд. 3-е, перер. и доп. – Павлодар: Дом печати, 2017. – С. 6–8.
7. Качество воды. Определение активности  $^{14}\text{C}$ . Метод жидкостного сцинтилляционного счета: Международный стандарт ISO 13162. – Первое изд. 01.11.2011. – Швейцария, 2011. – С. 2–5.
1. Aytmukhambetov A. A., Kolomeets E. V., Mansurov K. Zh. Radiatsionnye aspekty ispytaniya atomnogo oruzhiya v atmosfere; Radiatsionnye aspekty ot ispytaniya atomnogo oruzhiya v atmosfere // Vestnik KazGU. Seriya fizika. – 1998. – No. 4. – P. 51–53.
2. Kalashnikova D. A., Volkov Yu. V., Markelova A. N. i dr. Radiouglerod i tritiiy v ob'ektakh okruzhayushchey sredy // Prakticheskoe ispol'zovanie etikh radioizotopov: Mater. V Mezhdunar. konf., 13–16 sentyabrya 2016 g. – Tomsk, 2016. – P. 274–277.
3. Chebotina M. Ya., Ponomareva R. P. Osobennosti nakopleniya radiougleroda v komponentakh prirodnoy sredy // Ural'skiy geofizicheskiy vestnik. – 2007. – No. 4 (13). – P. 86–94.
4. Kul'kova M. A. Radiouglerod ( $^{14}\text{C}$ ) v okruzhayushchey srede i metod radiouglerodnogo datirovaniya: uchebno-metodicheskoe posobie. – Sankt-Peterburg, 2011. – P. 8.
5. Zazovskaya E. P. Radiouglerodnoe datirovanie – sovremennoe sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya i ispol'zovanie v arkheologii // Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii. – 2016. – No. 1 (32). – P. 158.
6. Semipalatinskiy ispytatel'nyy poligon. Sovremennoe sostoyanie. – Izd. 3-e, perer. i dop. – Pavlodar: Dom pechati, 2017. – P. 6–8.
7. Kachestvo vody. Opredelenie aktivnosti  $^{14}\text{C}$ . Metod zhidkostnogo stsintillyatsionnogo scheta: Mezhdunarodnyy standart ISO 13162. – Pervoe izd. 01.11.2011. – Shveytsariya, 2011. – P. 2–5.

**«ТӘЖІРИБЕ ДАЛАСЫ» АЛАҢЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНДАҒЫ РАДИОКӨМІРТЕГІН ЗЕРТТЕУГЕ  
АРНАЛҒАН ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҚОЛДАНУ**

**А.М. Раимканова, О.Н. Ляхова, А.К. Айдарханова, З.Б. Сержанова**

***ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан***

Мақалада  $^{14}\text{C}$  шоғырлануын анықтаудың сұйық сцинтилляциялық әдісіне негізделген тәжірибелік жұмыстар сипатталған. Pyrolyser-6 Trio сынамаларын қыздыруға және күлдендіруге арналған жүйені қолдана отырып, радиокөміртегілік талдаудың әдістемелік тәсілдері әзірленді. Радиокөміртегінің сертификатталған стандарттарын талдау арқылы жүргізілген зерттеулердің дәлдігін бағалау жүргізілді. Тәжірибелік жұмыстар нәтижесінде алғаш рет Семей сынақ полигонының «Тәжірибе даласы» сынақ алаңының топырағындағы  $^{14}\text{C}$  құрамы бойынша мөлшерлік деректер алынды. Зерттеліп жатқан аумақта радиокөміртегінің шоғырлануы біркелкі бөлінбейтіндігі анықталды, оның ең жоғары құрамы жердегі ядролық сынақтар жүргізілетін орындардың эпицентрінде тікелей тіркелген.

***Түйін сөздер:*** радиокөміртегі, топырақ, сұйықсцинтилляциялық әдіс, «Тәжірибе даласы», ССП, Pyrolyser-6 Trio, SL-300 альфа-бета радиометр.

**METHODOLOGICAL APPROACHES AND THEIR USE IN STUDYING RADIOCARBON  
IN SOIL OF THE «EXPERIMENTAL FIELD» SITE**

**A.M. Raimkanova, O.N. Lyakhova, A.K. Aidarkhanova, Z.B. Serzahnova**

***Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan***

The paper describes experimental works, based on liquid-scintillation method of determining  $^{14}\text{C}$  concentration. Methodological approaches were developed for radiocarbon analysis using Pyrolyser-6 Trio system for samples ignition and ashing. Accuracy of researches performed was assessed by means of analysis of certified radiocarbon standards. As the result of experimental activities, for the first time the quantitative data was obtained for  $^{14}\text{C}$  concentration in soil of the «Experimental Field» testing site of Semipalatinsk Test Site. Radiocarbon was found to have a non-uniform character of distribution at the territory researched. The highest concentration of the radionuclide was registered directly in the epicenters of surface nuclear tests.

***Keywords:*** radiocarbon, soil, liquid-scintillation method, «Experimental Field», STS, Pyrolyser-6 Trio, SL-300 alpha-beta radiometer.