

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-1-167-174>  
УДК 546.26: 630\*114(574)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОУГЛЕРОДА В ПОЧВЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А. К. Айдарханова\*, А. А. Сарсенова\*, А. С. Мамырбаева,  
Н. В. Ларионова, Ж. Е. Тлеуканова, А. О. Айдарханов

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

\* E-mail для контактов: almira@nnc.kz

В данной работе представлены данные распределения радиоуглерода ( $^{14}\text{C}$ ) в почвах лесных экосистем Республики Казахстан. В качестве объектов исследования рассмотрены лесные участки Бескарагайского района области Абай и Бурабайского района Акмолинской области. Определение  $^{14}\text{C}$  выполнено методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии. Результаты исследования показали, что в почвах Бескарагайского района наблюдается повышенное содержание  $^{14}\text{C}$ , в постепенном снижении от верхних слоев к нижним, что, по всей видимости, связано с радиоактивным загрязнением, вызванным испытаниями на Семипалатинском испытательном полигоне. В почвах Бурабайского района содержание  $^{14}\text{C}$  находится ниже предела обнаружения.

**Ключевые слова:** радиоуглерод ( $^{14}\text{C}$ ), жидкостно-сцинтилляционный метод, почва, лесная подстилка, Семипалатинский испытательный полигон (СИП).

### ВВЕДЕНИЕ

Один из наиболее достоверных методов оценки климатических изменений с течением времени – метод датирования, основанный на применении радиоактивного изотопа углерода – радиоуглерода ( $^{14}\text{C}$ ) с периодом полураспада  $5730 \pm 40$  лет [1].

Земля и её атмосфера постоянно подвергаются воздействию потоков радиоактивных частиц из межзвездного пространства. В верхних слоях атмосферы под влиянием космических лучей из атмосферного азота образуется радиоуглерод. Химически активный изотоп  $^{14}\text{C}$  почти мгновенно окисляется до  $^{14}\text{CO}$ , а затем, в течение нескольких недель, до  $^{14}\text{CO}_2$ . Этот радиоактивный диоксид углерода постепенно диффундирует к нижним слоям атмосферы и смешивается с обычной углекислотой. Радиоуглерод, образовавшийся в виде  $^{14}\text{CO}_2$ , включается в биогеохимический цикл обращения углерода. Из атмосферы он переходит в биосферу, захватываясь в виде  $\text{CO}_2$  растениями в ходе фотосинтеза и поглощается поверхностными слоями океана. Почвы в углеродном цикле играют значительную роль [2].

Если поток космических лучей постоянен, то общее количество атмосферного  $^{14}\text{C}$  должно находиться в равновесии (подвижное равновесие между распадом и образованием  $^{14}\text{C}$ , которое может со временем нарушаться). Однако, возможны отклонения.

Определенное значение имеет антропогенное воздействие, связанное с массовым использованием ископаемого топлива. Китай, например, является крупнейшим в мире источником выбросов  $\text{CO}_2$ , на его долю приходится около 30% от общего объема мировых выбросов [3]. В работе [4] приведены результаты о применении метода радиоуглеродного датирования для отслеживания содержания  $\text{CO}_2$  в топливе в 15 городах Китая. Результаты исследования выявили значительные различия в показателях между большинством городов, что свидетельствует о разнообразии источников и масштабов выбросов  $\text{CO}_2$  в различных регионах страны.

Содержание  $^{14}\text{C}$  в почве может быть индикатором длительности нахождения органической компоненты почвы в масштабах от веков до тысячелетий, поскольку оно снижается со временем в результате радиоактивного распада  $^{14}\text{C}$ . С помощью метода радиоуглеродного датирования было установлено, что в период около 2600–2500 лет назад на юге Приуралья произошло резкое изменение климата, связанное преимущественно с увеличением увлажненности. Это открытие было сделано при исследовании материалов из курганов ранних кочевников [5].

Испытания оружия в атмосфере, проводившиеся в 50-е – 60-е годы XX века привели к попаданию большого количества «бомбового»  $^{14}\text{C}$  в атмосферу. При этом пиковое значение, которое приходится на 1964 г. почти в два раза превышает содержание  $^{14}\text{C}$  природного происхождения [6, 7]. После подписания Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой в 1963 г., количество  $^{14}\text{C}$  в атмосферном  $\text{CO}_2$  значительно снизилось, поскольку «бомбовый»  $^{14}\text{C}$  переместился в океанические и земные резервуары. Таким образом, глобальный «бомбовый всплеск»  $^{14}\text{C}$  позволяет оценить, сколько органического углерода, зафиксированного за счет фотосинтеза, вошло в состав органического вещества почвы [8].

Испытания, проводимые на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), сформировали радиоактивное загрязнение не только территории полигона, но и далеко за его пределами. При этом, основным источником радиоактивного загрязнения за пределами полигона являлись так называемые «следы радиоактивных выпадений» от атмосферных ядерных испытаний.

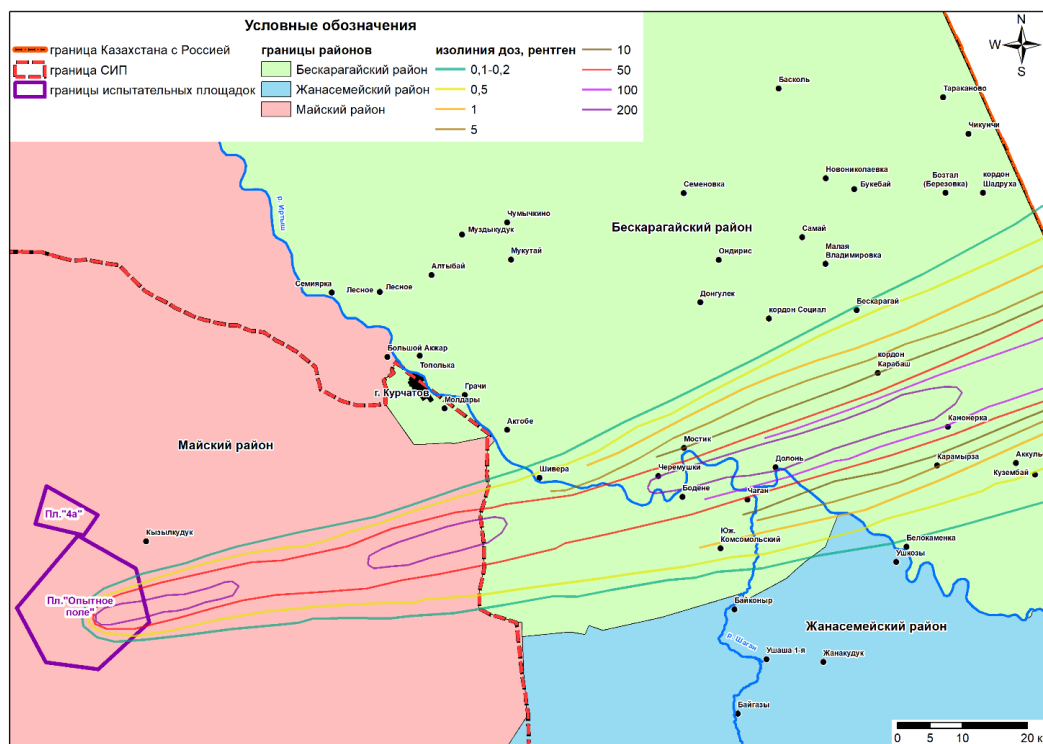


Рисунок 1. «Восточный след» радиоактивных выпадений от первого ядерного испытания в СССР (29 августа 1949 г.)

Первое ядерное испытание в СССР, проведенное 29 августа 1949 г. образовало узкий радиоактивный след в северо-восточном направлении, так называемый «восточный след» (рисунок 1). Территория, подвергшаяся загрязнению, простиралась постепенно расширяющейся полосой до расстояния примерно 700 км от границы полигона при ширине следа до 130 км. Радиоактивному загрязнению подверглись Новопокровский и Beskaragayskiy районы Семипалатинской области (ныне область Абай, Республика Казахстан) и несколько районов Алтайского края (Российская Федерация) [9].

Для проведения исследований по распределению  $^{14}\text{C}$  в почве, участки для отбора проб не должны иметь техногенную нарушенность и быть достаточно обогащены углеродом. Для подобных исследований в большей степени подходят лесные почвы. Лесные почвы обладают пространственной изменчивостью, причины которой многочисленны, например, тип основания материнских пород, климат, растительность, нарушенность и другие комбинированные эффекты. Также лесные почвы лучше всего отражают средние физико-химические свойства (включая содержание органического углерода) исследуемого участка [10]. Леса играют ключевую роль в регулировании климата на планете, поглощая углерод и влияя на температуру. Они содержат 660 млн тонн углерода – это более половины глобального запаса углерода в почвах и растительности [11].

Согласно данным Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природ-

ных ресурсов Республики Казахстан, лесной фонд занимает 11,2% территории Республики. Лесистость страны составляет всего 5% [12].

Леса представлены четырьмя основными видами: леса лесостепной и степной зон, горные леса, тугайные и саксауловые леса. Леса в Казахстане располагаются крайне неравномерно. Типы лесной растительности обуславливаются разнообразием природных зон. В пустынной зоне произрастают саксауловые леса. Основная часть горных лесов представлена темнохвойными насаждениями Алтая, Джунгарского и Заилийского Алатау. В равнинной части степной и лесостепной зон произрастают березово-осиновые колочные леса, островные сосновые боры, ленточные боры Прииртышья [13].

Цель данной работы – предварительная оценка содержания  $^{14}\text{C}$  в почвах лесных экосистем равнинной части территории Республики Казахстан.

## 1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### 1.1. Объекты исследования

В связи с тем, что саксауловые леса распространены на сильно обедненных органической составляющей и слабо развитых почвах, а горные леса являются труднодоступными с высокой долей обломков скальных пород в почвах, на которых они произрастают, для проведения исследований были выбраны равнинные участки степной зоны Республики Казахстан. Объектами исследования являлись почвы лесов Beskaragayskiy района области Абай и Бурабайского района Акмолинской области (рисунок 2).



Рисунок 2. Расположение участков исследований

В области Абай в пределах Бескарагайского и Бородулихинского административных районов распространены сосновые леса. В Бескарагайском районе сосновые леса представляют собой окончание Барнаульской и Касмалинской лент, произрастающие на каштановых типах почв. Местность произрастания лесов характеризуется как выровненным, так и всхолмленным бугристым рельефом [14]. В Бурабайском районе Акмолинской области сосновые леса расположены вокруг озера Боровое, в степной зоне на возвышенности северо-западной части Казахского мелкосопочника. Почвенный покров отличается разнообразием черноземов – от горнолесных буроземных до лугово-черноземных почв [15]. Также в данных районах встречаются осиновые и березовые леса.

### 1.2. Отбор проб

Для проведения исследований выполнены экспедиционные работы, в ходе которых отобраны пробы почвы и лесной подстилки осинового (т.1) и соснового (т.2) лесов в Бескарагайском районе области Абай,

и березового (т.1 и т.2) и соснового (т.3) лесов Бурабайском районе Акмолинской области. Участки отбора проб представлены на рисунке (рисунок 3). В Бескарагайском районе участки, на которых проводились исследования, располагались в границах прохождения следа от испытания 1949 г. с предполагаемо повышенным содержанием радионуклидов в компонентах природной среды.

На выбранных участках проведен отбор проб лесной подстилки и послойный отбор проб почвы до глубины 50 см. Для отбора проб выбирались участки с ненарушенной поверхностью площадью 1 м<sup>2</sup>. Перед отбором проб почвы проводился отбор пробы лесной подстилки, а затем зачистка поверхностного слоя от подстилки. С подготовленного участка отбор проб почвы проводился методом выкапывания шурфа. Глубина шурфа составляла не менее 60 см. Отбор проб проводился послойно с поверхности шурфа с интервалом в 10 см до глубины 50 см. Каждый отобранный слой почвы (проба) герметично упаковывался в полиэтиленовый пакет.

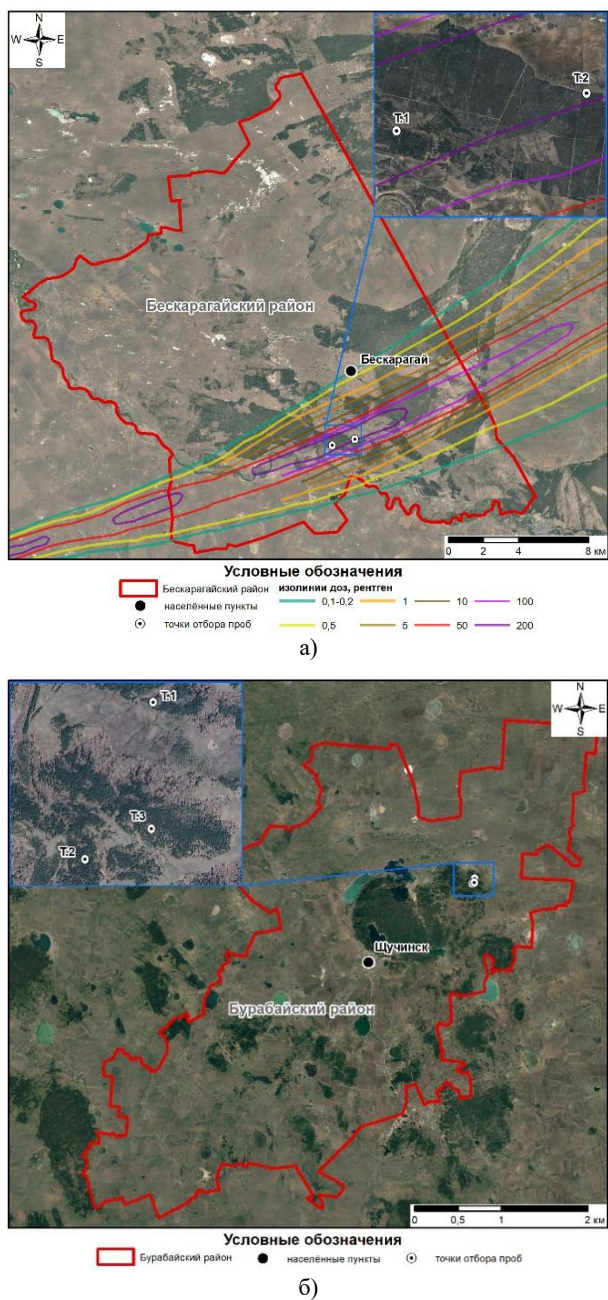


Рисунок 3. Участки отбора проб и расположение точек: Бескарагайский район области Абай (а); Бурабайский район Акмолинской области (б)

### 1.3. Лабораторные анализы

Лабораторные исследования включали в себя определение содержания  $^{14}\text{C}$  в пробах почвы и лесной подстилки. С этой целью отобранные пробы доставлялись в лабораторию в герметичных полиэтиленовых пакетах для предотвращения потери влаги и загрязнения. Из проб удалялись крупные растительные остатки, камни и другие посторонние включения. Образцы почвы высушивались при температуре  $105^\circ\text{C}$  и просеивались через сито с размером ячеек 2 мм. Лесную подстилку разделяли на органическую и минеральную часть методом просеивания через крупное сито. Далее проводилась подготовка, вклю-

чающая этапы сушки и измельчения. Для радиоуглеродного анализа из образцов почвы отбиралась навеска 5 г, из лесной подстилки – 2 г.

Для определения  $^{14}\text{C}$  методом жидкостного сцинтилляционного счета подготовка проб почвы проводилась с помощью автоматизированной системы Pyrolyser-6 Trio (Raddec International Ltd, UK) [16], предназначенной для эффективного извлечения  $^{14}\text{C}$  из различных матриц. Методология данного анализа описана в работе [17]. Определение удельной активности  $^{14}\text{C}$  в полученных образцах осуществлялось с использованием высокочувствительного альфа-бета-радиометра SL-300 [18].

Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми в почвоведении методами. Определение органического вещества (гумуса) в почве [19] проводилось фотометрическим методом, основанном на окислении органического вещества почв раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте и последующим определении содержания трехвалентного хрома, эквивалентного содержанию органического вещества в почве, на спектрофотометре при длине волны 590 нм. Определение механического состава почв [20] методом пипетки основано на зависимости скорости оседания частиц в суспензии от их размера. Зная скорость осаждения механических элементов разного диаметра, пипеткой отбираются пробы почвенной суспензии с определенной глубины через определенное время после взмучивания и определяют весовым методом содержание механических элементов. Определение гигроскопической влаги [21] проводилось методом высушивания до постоянной массы. Для этого навеску массой 15–20 г, отобранную методом квартования из почвы в воздушно-сухом состоянии, растертой, просеянной через сито с размером ячеек 1 мм, высушивают при температуре  $(105\pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 5 ч, повторяя операцию до достижения постоянной массы.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенных анализов определены некоторые физико-химические свойства исследуемых почв (гумус, механический состав и гигроскопическая влага), результаты представлены в таблице 1.

Согласно полученным результатам, почва осинового леса по всей исследованной глубине содержит высокое содержание органического вещества в количествах, превышающих 15% (верхний предел рабочего диапазона использованного в работе метода). Органическое вещество здесь представлено неразложившимися или полуразложившимися растительными остатками. Количество частиц физической глины ( $<0,01$  мм) достигает 6–7%, что соответствует связанным-песчаным почвам. В почвенном профиле соснового леса сверху отмечается, как правило, небольшой мощности лесная подстилка (до 2–3 см, реже 5 см). Содержание гумуса в исследуемом образце не достигает 1% и с глубиной снижается. Данные почвы отличаются рыхло-песчаным составом, где количество частиц физической глины не достигает 3,5%.

Таблица 1. Физико-химический анализ почвы

№	Точка и место отбора	Глубина отбора, см	Гумус, %	Механический состав, содержание физической глины (частиц с d <0,01 мм), %	Гигроскопическая влага, %
1	т.1, осиновый лес, Бескарагайский район	0–10	–*	6,13	9,43
2		10–20	–*	6,65	14,33
3		20–30	–*	4,94	12,92
4		30–40	–*	4,18	5,91
5		40–50	–*	3,61	2,54
6	т.2, сосновый лес, Бескарагайский район	0–10	0,76	2,41	0,34
7		10–20	0,86	3,05	0,28
8		20–30	0,51	3,10	0,29
9		30–40	0,43	3,32	0,29
10		40–50	0,30	3,40	0,30
11	т.1, березовый лес, Бурабайский район	0–10	–*	2,75	3,60
12		10–20	6,07	1,72	0,37
13		20–30	3,02	1,28	0,23
14		30–40	2,93	0,59	0,13
15		40–50	1,43	0,87	0,13
16	т.2, березовый лес, Бурабайский район	0–10	4,98	4,87	1,14
17		10–20	3,95	6,64	1,23
18		20–30	2,00	1,90	1,60
19		30–40	1,23	0,67	0,96
20		40–50	1,66	0,17	0,94
21	т.3, сосновый лес, Бурабайский район	0–10	–*	11,21	13,04
22		10–20	3,44	22,07	5,57
23		20–30	2,46	23,10	5,51
24		30–40	1,50	20,46	4,98
25		40–50	2,01	28,87	6,65

Примечание: \* – согласно [19], использованный метод не пригоден для проб с массовой долей органического вещества более 15%

В почвах Бурабайского района в верхних слоях 2-х участков исследования содержание органического вещества превышает 15%. В целом, в почвах березового и соснового лесов органическое вещество в верхних слоях достигает 3,5–6%. С глубиной его содержание закономерно снижается до 1,4–2,0%. По составу почвы березового леса относятся к рыхло- и связанно-песчаным почвам с количеством частиц физической глины (<0,01 мм) порядка 3% и 7%, соответственно. Почва соснового леса отличается легкосуглинистым составом с количеством частиц физической глины (<0,01 мм) порядка 30%.

Результаты определения содержания <sup>14</sup>C в отобранных образцах почвы и лесной подстилки представлены в таблице 2.

Согласно полученным результатам, повышенным содержанием <sup>14</sup>C характеризуется Бескарагайский район. Максимальная концентрация <sup>14</sup>C для всех исследуемых участков зафиксировано в почвенной подстилке: до 410 Бк/кг (Бескарагайский район) и до 50 Бк/кг (Бурабайский район).

Таблица 2. Результаты определения <sup>14</sup>C в почве и лесной подстилке

№	Точка и место отбора	Глубина отбора, см	Удельная активность <sup>14</sup> C, Бк/кг
1	т.1, осиновый лес, Бескарагайский район	лесная подстилка	410 ± 60
2		0–10	70 ± 10
3		10–20	330 ± 50
4		20–30	40 ± 6
5		30–40	< 6
6		40–50	< 6
7	т.2, сосновый лес, Бескарагайский район	лесная подстилка	335 ± 50
8		0–10	245 ± 37
9		10–20	40 ± 6
10		20–30	< 6
11		30–40	20 ± 3
12		40–50	20 ± 3
13	т.1, березовый лес, Бурабайский район	лесная подстилка	10 ± 3
14		0–10	< 6
15		10–20	< 6
16		20–30	< 6
17		30–40	< 6
18		40–50	< 6
19	т.2, березовый лес, Бурабайский район	лесная подстилка	30 ± 5
20		0–10	< 6
21		10–20	< 6
22		20–30	< 6
23		30–40	< 6
24		40–50	< 6
25	т.3, сосновый лес, Бурабайский район	лесная подстилка	50 ± 8
26		0–10	< 6
27		10–20	< 6
28		20–30	< 6
29		30–40	< 6
30		40–50	< 6

Сравнительно более высокие значения удельной активности <sup>14</sup>C в почве и лесной подстилке установлены для участков с более тяжелым механическим составом почв и повышенным содержанием в них гигроскопической влаги (таблица 1): осиновый лес Бескарагайского района (т.1) и сосновый лес Бурабайского района (т.3). Для т.1 в осиновом лесу в отличие от т.2 соснового леса Бескарагайского района также отмечается высокое содержание в почве гумуса (таблица 1).

Результаты вертикального распределения <sup>14</sup>C в почвенном профиле показали, что для лесов Бескарагайского района максимальные значения зафиксированы в верхних слоях: в осиновом лесу на глубине 20 см – 330 Бк/кг; в сосновом лесу на глубине 10 см – 245 Бк/кг. В почвах, отобранных в лесах Бурабайского района, содержание <sup>14</sup>C по всему профилю находится ниже предела обнаружения.

Высокие значения содержания <sup>14</sup>C в почвах Бескарагайского района свидетельствуют о присутствии «бомбового» <sup>14</sup>C, по сравнению с почвами Бурабай-

ского района. Хотя, если сравнивать сосновые леса двух районов, содержание органического вещества в почве Бурабайского района на порядок превышает его содержание в почве Бескарагайского района (таблица 1), при этом содержание  $^{14}\text{C}$  в почве соснового леса Бурабайского района находится ниже предела обнаружения, в почве такого же леса Бескарагайского района достигает порядка 250 Бк/кг.

При отсутствии  $^{14}\text{C}$  в почве лесов Бурабайского района (<6 Бк/кг), его содержание в лесной подстилке варьирует от 10–30 Бк/кг (в березовом лесу) до 50 Бк/кг (в сосновом лесу), что свидетельствует о поступлении  $^{14}\text{C}$  из атмосферы (захват в виде  $^{14}\text{CO}_2$  растениями в ходе фотосинтеза). Содержание  $^{14}\text{C}$  в лесной подстилке лесов Бескарагайского района на уровне от 340 до 410 Бк/кг, что на порядок превышает содержание данного радионуклида в лесной подстилке лесов Бурабайского района, вероятно свидетельствует о двух источниках поступления  $^{14}\text{C}$  как из атмосферы, так и из почвы.

Зафиксированные значения концентрации «бомбового»  $^{14}\text{C}$  в поверхностных почвенных слоях показывают время оборота медленно циклирующего углерода. Следовательно, та часть почвенной среды, которая не успевает включаться в почвенный оборот, является потенциальным источником эмиссии углерода в атмосферу через микробальное разложение органической компоненты почвы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить особенности распределения  $^{14}\text{C}$  в почвах лесных экосистем Казахстана. В почвах Бескарагайского района, расположенного в зоне радиоактивного следа от испытаний 1949 г., обнаружено значительное содержание «бомбового»  $^{14}\text{C}$ , особенно в верхних слоях почвы и лесной подстилке, что свидетельствует о его поступлении как из атмосферы, так и из почвы. В отличие от этого, в почвах Бурабайского района содержание  $^{14}\text{C}$  значительно ниже и, в основном, находится ниже предела обнаружения. Незначительное количество  $^{14}\text{C}$ , обнаруженное в лесной подстилке, вероятно, связано с поглощением атмосферного  $^{14}\text{CO}_2$  растениями в процессе фотосинтеза.

Различия в содержании  $^{14}\text{C}$  в почвах двух районов, несмотря на большее содержание органического вещества в почвах Бурабайского района, подчеркивают влияние фактора радиоактивного загрязнения, связанного с испытаниями на СИП. Полученные данные о распределении «бомбового»  $^{14}\text{C}$  в почвенных слоях Бескарагайского района позволяют оценить время оборота медленно циклирующего углерода и выявить потенциальные источники эмиссии углерода в атмосферу.

*Данная работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан BR21881915 «Применение ядерных, сейс-*

*мических и инфразвуковых методов для оценки климатических изменений и смягчения последствий изменения климата.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чичагова О.А., Зазовская Э.П. Радиоуглеродное датирование: прошлое, настоящее, будущее – развитие идей И.П. Герасимова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2015. – Вып. 81. – С. 160–176. – <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-81-160-176>.
2. Larsen T., Yokoyama Yu., Fernandes R. Radiocarbon in ecology: Insights and perspectives from aquatic and terrestrial studies // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2018. – Vol. 9. – P. 181–190. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12851>.
3. Boden, T. A., Marland, G., & Andres, R. J. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, 2013.
4. Zhou, W., Niu, Z., Wu, S., Xiong, X., Hou, Y., Wang, P., ... & Zhu, Y. Fossil fuel CO<sub>2</sub> traced by radiocarbon in fifteen Chinese cities. *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 729. – P. 138639.
5. Хохлова О.С., Зазовская Э.П., Чичагова О.А., Яблонский Л.Т. Радиоуглеродное датирование различных материалов из курганов ранних кочевников Южного Приуралья // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2010. – № 3. – С. 82–94.
6. Hua Q., Barbetti M., Rokowski A.Z. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010 / *Radiocarbon*. – 2013. – Vol. 55. – P. 2059–2072. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.v55i2.16177](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.v55i2.16177)
7. Мыглан В.С. Методы датирования / Палеоклиматология: уч. пос. – Красноярск, 2007. – С. 12–18.
8. Trumbore S. Carbon respired by terrestrial ecosystems – recent progress and challenges / *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12. – P. 141–153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01067.x>
9. Семипалатинский полигон. Ядерные испытания ССР. Обеспечение общей и радиационной безопасности при проведении ядерных испытаний. ФУ МЕДБИОЭКС-ТРЕМ Минздрав РФ. Под ред. Логачева В.А. – Москва, 1997 г., – 244 с.
10. Koarashi J., Atarashi-Andoh M., Nagano H. et.al. Practical Guide on Soil Sampling, Treatment, and Carbon Isotope Analysis for Carbon Cycle Studies / *JAEA-Technology 2020-012*. – JAEA, 2020. – 55 p. – <https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2020-012>.
11. Сохранение лесов в Казахстане на благо людей. <https://www.undp.org/ru/kazakhstan/stories/sokhraneniyesov-v-kazakhstane-na-bлаго-lyudey> (дата обращения 24.02.2025 г.).
12. Лесной фонд Казахстана. <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/activities/3811?lang=ru> (дата обращения 24.02.2025 г.).
13. Биоразнообразие. <https://newecodoklad.ecogofond.kz/2016/bioraznoobrazie/> (дата обращения 24.02.2025 г.).
14. Почвенная карта Семипалатинской области Казахской ССР. М. 1:300000/ Под ред. А.А. Соколова, М.К. Колходжаева, Н.И. Котина, К.Ш. Фаизова // *Ин-т почвоведения АН Каз. ССР Алма-Ата*, 1958.
15. Почвы Казахской ССР. Почвы Целиноградской области / В.В. Редков. Алма-Ата: Наука, 1964. – 325 с.

16. Методические рекомендации. Определение радиоуглерода в компонентах природной среды. Филиал «ИРБЭ» РГП НЯЦ РК, № 01-08/724 от 03.10.2022. – 14 с.
17. Раимканова А.М., Ляхова О.Н., Айдарханова А.К., Сержанова З.Б. Методические подходы и их применение к изучению радиоуглерода в почве площадки «Опытное поле» // Вестник НЯЦ РК. – 2021. – Вып. 4. – С. 3–9. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-3-9>
18. ISO 13162:2021: Water quality – Carbon 14 – Test Method Using Liquid Scintillation Counting (International Organization for Standardization, Geneva, 2021).
19. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Изд-во стандартов, 1985.– 12 с.
20. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2015.– 24 с.
21. ГОСТ 5180- 2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2016.– 19 с.
8. Trumbore S. Carbon respired by terrestrial ecosystems – recent progress and challenges // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12. – P. 141–153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01067.x>
9. Semipalatinskiy poligon. Yadernye ispytaniya SSR. Obespechenie obshchey i radiatsionnoy bezopasnosti pri provedenii yadernykh ispytaniy. FU MEDBIOEKSTREM Minzdrav RF. Pod red. Logacheva V.A. – Moscow, 1997 g., – 244 p.
10. Koarashi J., Atarashi-Andoh M., Nagano H. et.al. Practical Guide on Soil Sampling, Treatment, and Carbon Isotope Analysis for Carbon Cycle Studies / JAEA-Technology 2020-012. – JAEA, 2020. – 55 p. – <https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2020-012>.
11. Sokhranenie lesov v Kazakhstane na blago lyudey. <https://www.undp.org/ru/kazakhstan/stories/sokhranenie-lesov-v-kazakhstane-na-bлаго-lyudey> (date of access 24.02.2025).
12. Lesnoy fond Kazakhstana. <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/activities/3811?lang=ru> (date of access 24.02.2025.).
13. Bioraznoobrazie. <https://newecodoklad.ecogofond.kz/2016/bioraznoobrazie/> (date of access 24.02.2025).
14. Pochvennaya karta Semipalatinskoy oblasti Kazakhskoy SSR. M. 1:300000/ Pod red. A.A. Sokolova, M.K. Kolkhodzhaeva, N.I. Kotina, K.Sh. Faizova // In-t pochvovedeniya AN Kaz. SSR Alma-Ata, 1958.
15. Pochvy Kazakhskoy SSR. Pochvy Tselinogradskoy oblasti / V.V. Redkov. Alma-Ata: Nauka, 1964. – 325 p.
16. Metodicheskie rekomendatsii. Opredelenie radiougleroda v komponentakh prirodnoy sredy. Branch “IRSE” RSE NNC RK, No. 01-08/724 from 03.10.2022. – 14 p.
17. Raimkanova A.M., Lyakhova O.N., Aidarkhanova A.K., Serzahnova Z.B. Methodological approaches and their use in studying radiocarbon in soil of the “Experimental Field» site // NNC RK Bulletin. – 2021. – Issue 4. – P. 3–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-3-9>
18. ISO 13162:2021: Water quality – Carbon 14 – Test Method Using Liquid Scintillation Counting (International Organization for Standardization, Geneva, 2021).
19. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. – Moscow.: Изд-во стандартов, 1985.– 12 p.
20. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Moscow: Standartinform, 2015.– 24 p.
21. ГОСТ 5180- 2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Moscow: Standartinform, 2016.– 19 p.

#### REFERENCES

1. Chichagova O.A., Zazovskaya E.P. Radiouglerodnoe datirovanie: proshloe, nastoyashchee, budushchee – razvitie idey I.P. Gerasimova // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. – 2015. – Issue 81. – P. 160–176. – <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-81-160-176>.
2. Larsen T., Yokoyama Yu., Fernandes R. Radiocarbon in ecology: Insights and perspectives from aquatic and terrestrial studies // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2018. – Vol. 9. – P. 181–190. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12851>.
3. Boden, T. A., Marland, G., & Andres, R. J. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions . Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, 2013.
4. Zhou, W., Niu, Z., Wu, S., Xiong, X., Hou, Y., Wang, P., ... & Zhu, Y. Fossil fuel CO<sub>2</sub> traced by radiocarbon in fifteen Chinese cities. *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 729. – P. 138639.
5. Khokhlova O.S., Zazovskaya E.P., Chichagova O.A., Yablonskiy L.T. Radiouglerodnoe datirovanie razlichnykh materialov iz kurganov rannikh kochevnikov Yuzhnogo Priural'ya // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. – 2010. – No. 3. – P. 82–94.
6. Hua Q., Barbetti M., Rokowski A.Z. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010 / *Radiocarbon*. – 2013. – Vol. 55. – P. 2059–2072. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc. v55i2.16177](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc. v55i2.16177)
7. Myglan V.S. Metody datirovaniya / *Paleoklimatologiya: uch. pos.* – Krasnoyarsk, 2007. – P. 12–18.

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ОРМАН ЭКОЖҮЙЕЛЕРІНІҢ  
ТОПЫРАҒЫНДА РАДИОКӨМІРТЕКТИҢ ТАРАЛУЫН ЗЕРТТЕУ**

**А. К. Айдарханова, А. А. Сарсенова\*, А. С. Мамырбаева,  
Н. В. Ларионова, Ж. Е. Тлеуканова, А. О. Айдарханов**

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

*\* Байланыс үшін E-mail: aidanasarsenova@nnc.kz*

Бұл жұмыста Қазақстан Республикасының орман экожүйелерінің топырағында радиокөміртектің таралуы бойынша зерттеу ұсынылған. Зерттеу нысаны ретінде Абай облысы Бесқарағай ауданы мен Ақмола облысы Бурабай ауданының орман учаскелері таңдалды. Зерттеулер үшін сұйық сцинтилляциялық спектрометрия әдісімен  $^{14}\text{C}$  құрамы анықталған орман төсемінің сынамалары және топырақ сынамаларын қабаттық іріктеу жүргізілді. Зерттеу нәтижелері Бесқарағай ауданының топырақтарында  $^{14}\text{C}$  мөлшері жоғары екенін көрсетті, ол жоғарғы қабаттан төменгі қабатқа өткенде біртіндеп төмендейді. Бұл Семей сынақ полигонындағы сынақтардан туындаған радиоактивті ластануға байланысты. Бурабай ауданының топырақтарында  $^{14}\text{C}$  мөлшері анықтау шегінен төмен.

**Түйінді сөздер:** радиокөміртек ( $^{14}\text{C}$ ), сұйық сцинтилляциялық әдіс, топырақ, орман төсемі, Семей сынақ полигоны.

**RESEARCH INTO THE DISTRIBUTION OF RADIOCARBON IN THE SOIL  
OF FOREST ECOSYSTEMS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**A. K. Aidarkhanova, A. A. Sarsenova\*, A. S. Mamyrbayeva,  
N. V. Larionova, Zh. Ye. Tleukanova, A. O. Aidarkhanov**

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

*\* E-mail for contacts: aidanasarsenova@nnc.kz*

This paper presents research into the distribution of radiocarbon in the soils of forest ecosystems of the Republic of Kazakhstan. The forest compartments of the Beskaragai area of the Abai region and the Burabai area of the Akmola region were selected as research objects. For research, samples of forest litter and soil were collected layerwise, in which the content of  $^{14}\text{C}$  was determined by liquid scintillation spectrometry. The research findings showed that the soils of the Beskaragai area exhibit an elevated content of  $^{14}\text{C}$  gradually decreasing from top to bottom. This is due to radioactive contamination caused by the tests conducted at the Semipalatinsk Test Site. The content of  $^{14}\text{C}$  in the soils of the Burabai area is below the detection limit.

**Keywords:** radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ), liquid scintillation technique, soil, forest litter, Semipalatinsk Test Site.