

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{90}Sr И ^{137}Cs
В ПОЧВАХ ВОДОСБОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НЕКОТОРЫХ
ОЗЕР ДАЛЬНЕЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИАЦИОННОГО
СЛЕДА В ОТДАЛЕННЫЙ ПОСТАВАРИЙНЫЙ ПЕРИОД**

**DISTRIBUTION OF ^{90}Sr AND ^{137}Cs IN SOILS OF DRAINED AREAS OF
CERTAIN LAKES IN FAR ZONE OF THE EAST-URALS RADIOACTIVE
TRACE IN DISTANT POST-ACCIDENT PERIOD**

***А.А. Сутягин**, *С.Г. Левина*, *В.В. Дерягин*, *Н.С. Парфилова*
*A.A. Sutyagin**, *S.G. Levina*, *V.V. Deryagin*, *N.S. Parfilova***

ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный педагогический университет», Челябинск
Chelyabinsk State Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: радионуклиды, загрязнение, миграция
KEY WORDS: radionuclides, contamination, migration

РЕЗЮМЕ: Описаны результаты исследований распределения и миграции долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах супераквальных и элювиальных позиций водосборных территорий озер дальней зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС). Показано, что максимум удельной активности характерен для верхних почвенных слоев с наибольшим содержанием органического вещества. Показаны различия в закономерностях миграции для почв супераквальных и элювиальных позиций, связанные с различными режимами увлажнения. Отмечено, что для почв водосборных территорий озера Травяное характерны некоторые закономерности распределения, свойственные экосистемам средней зоны ВУРС.

ABSTRACT: The results of study of the distribution and migration of long-lived radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs in supraquial and eluvial soils of drained areas of lakes of the East-Urals radioactive trace far zone are described. It has been revealed that the maximum specific activity is typical for higher soil stratum containing the most of organic compounds. There has been registered some differences in regularities of migration for soils of the supraquial and eluvial positions related with different humidification conditions. It has been noted that soils of drained areas of the lake Travyanoe are characterized by some regularities of distribution peculiar to the central part of the East-Urals radioactive trace ecosystem.

Исследования миграции и накопления радионуклидов в водных биогеоценозах, подверженных техногенному воздействию, являются актуальной задачей радиоэкологии (Трапезников и др., 2007). Уральский регион является зоной активной радиационной нагрузки: в нем функционируют 8 ядерных реакторов, 6 центров по переработке радиоактивных материалов и 6 центров по захоронению ядерных отходов (Трапезников, 2010). В результате деятельности ПО «Маяк» сформировалась территория Восточно-Уральского радиационного следа (ВУРС) площадью 23 тыс. км² (север Челябинской области, часть Свердловской и Тюменской областей). При аварии 1957 г., произошедшей на ПО «Маяк», в составе радиоактивного загрязнения наиболее значимым явился ^{90}Sr , принятый за реперный радионуклид (Подтесов и др., 2006). Значимым радионуклидом, вносящим вклад в облучение, является и ^{137}Cs .

На территории ВУРС расположено более 60 озер (Левина, Аклеев, 2010), в том числе используемых в хозяйственной деятельности. Проблемы воды требуют рассмотрения вопросов возобновления или интенсификации хозяйственной деятельности на водоемах и площадях их водосбора. Особое значение следует уделить озерам, расположенным в периферийной зоне Следа и подвергшимся наименьшей степени загрязнения.

В исследовании биогеоценозов находит широкое применение системный анализ, основанный на изучении совокупности природных объектов, обладающих известной независимостью, и в то же

*Адрес для переписки: Сутягин Андрей Алексеевич; к.х.н., доц.; E-mail: sandrey0507@mail.ru

время связанных между собой сопряженными процессами рассеяния и концентрирования химических элементов в различных компонентах экосистемы (Позолотина и др., 2008). Так, при изучении экологического состояния озерных экосистем важнейшим компонентом является исследование накопления и распределения поллютантов в почвах водосборных территорий. Почвы являются ключевым звеном в круговороте химических элементов: при техногенном загрязнении они выполняют барьерную функцию, аккумулируя поллютанты, участвуя в регуляции биогеохимических процессов миграции и часто выступая как источник вторичного загрязнения водоема в отдаленный поставарийный период.

В работе рассмотрены данные о накоплении и распределении долгоживущих радионуклидов в почвах водосборных территорий озер Шаблиш, Травяное и Куяныш (Челябинская область). По отношению к источнику эмиссии озера характеризуются как дальнеудаленные (80 км от эпицентра аварии, дальняя зона ВУРС). После аварии 1957 г. с побережья озера Травяное отселены населенные пункты, водоем развивается без активного антропогенного воздействия, но территория водосбора используется для покосов. С побережья озер Куяныш и Шаблиш отселения населенных пунктов не производилось, на берегу расположены населенные пункты (д. Гаева и п. Шаблиш), водоемы активно используются для отлова рыбы.

Образцы почв отбирались в летний период. Определение места закладки разрезов основывалось на исследовании особенностей ландшафтных катен с учетом влияния грунтовых вод на приозерную территорию (Глазовская, 1981) и выделением супераквальных и элювиальных позиций ландшафта. Почву отбирали слоями с учетом генетических горизонтов до глубины 35–100 см.

Пробоподготовка и аналитические исследования проводились на базе лаборатории физико-химических методов исследований ЧГПУ. Определение основных физико-химических показателей проводилось по стандартным методикам. Содержание радионуклидов определялось на Биофизической станции Института экологии растений и животных УрО РАН и Уральского научно-практического центра радиационной медицины. Определение ^{137}Cs проводили на гамма-спектрометре фирмы «CANBERA». Погрешность измерения не превышала 20%. Удельную активность ^{90}Sr определяли радиохимическим методом выделения радионуклида в виде оксалатов с измерением бета-активности на малофоновой установке УМФ-2000 и комплексе «Прогресс». Погрешность измерения не превышала 20%.

Почвы водосборных территорий исследованных озер лежат в области преимущественного распространения луговых и серых лесных почв (Почвенная карта..., 1990). Почвенные разрезы элювиальных позиций исследованных озер вскрыли серые лесные почвы; для почв элюви-

альных позиций характерны, помимо этого, лугово-черноземные почвы.

Анализ химических свойств исследованных почв показывает, что они характеризуются величинами рН водных вытяжек в супераквальных разрезах от слабокислых и нейтральных (Куяныш) до нейтральных и слабощелочных (Шаблиш, Травяное). Элювиальные разрезы характеризуются слабокислыми значениями рН водных вытяжек. Величины окислительно-восстановительного потенциала колеблются в интервале от 292 до 415 мВ, что подтверждает наличие в них аэробных условий с хорошим промывным режимом.

Почвы характеризуются достаточно высоким содержанием органического вещества в верхних горизонтах (от 7 до 13%), его содержание закономерно уменьшается с увеличением глубины и в нижних горизонтах составляет 1,5–3%. Почвы характеризуются фоновыми значениями содержания микроэлементов.

Для элювиальных элементов ландшафтов водосборных территорий характерен непромывной или периодически промывной режим, в условиях которого вынос веществ из почвы затруднен. Анализ горизонтального изменения удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs по почвенным разрезам показывает, что максимальными величинами характеризуется почвенная подстилка (Шаблиш, Травяное) и горизонт А1 под подстилкой (Куяныш). Так, максимальная удельная активность по ^{90}Sr составляет для озер Куяныш, Шаблиш и Травяное 110 Бк/кг, 89 Бк/кг и 375 Бк/кг сухой массы соответственно. Аналогичные значения по ^{137}Cs составляют 230 Бк/кг, 48 Бк/кг и 186 Бк/кг сухой массы.

Для почвенных разрезов водосбора озера Куяныш в верхнем 10-сантиметровом слое наблюдаются близкие значения удельных активностей ^{90}Sr и ^{137}Cs , что по всей вероятности, связано с небольшим содержанием гумуса. Для почвенных разрезов водосбора озера Травяное удельная активность ^{90}Sr в этих слоях в 2 раза превышает удельную активность ^{137}Cs . Средние соотношения удельных активностей $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ для почвенных разрезов озер Куяныш и Шаблиш составляют 1,4–1,5, что характерно для озерных экосистем дальней зоны ВУРС и объясняется обогащением выпавшей радионуклидной смеси цезием. Данная величина для почв водосбора озера Травяное составляет 5,8, что более характерно для озер средней зоны ВУРС.

Для почв водосборов озер Шаблиш и Травяное вся удельная активность ^{137}Cs распределена на глубине до 27 см. Для почв водосбора озера Куяныш радионуклид глубже проникает по почвенному профилю, и на глубине до 45 см его удельная активность достигает 10 Бк/кг сухой массы. ^{90}Sr характеризуется большей миграционной подвижностью: в почвах водосборов озер Шаблиш и Травяное на глубине до 27 см распределено 76% и

92% удельной активности.

Для супераквальных элементов ландшафта водосборов характерно повышенное увлажнение как атмосферными осадками, так и неглубоко залегающими грунтовыми водами. Это создает режим увлажнения, благоприятный для высокой продуктивности прибрежных биоценозов и накопления гумуса. Возникает возможность как движения поллютантов по разрезу, так и их вымывания в водоем. В результате в супераквальном элементе ландшафта формируются благоприятные условия для миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Рассматриваемые разрезы, как и разрезы элювиальных позиций, характеризуются максимумом удельной активности в почвенной подстилке (Куяныш) и в слое под подстилкой (Шаблиш, Травяное). Максимальная удельная активность по ^{90}Sr составляет для озер Куяныш, Шаблиш и Травяное 106 Бк/кг, 39 Бк/кг и 190 Бк/кг сухой массы, соответственно. Аналогичные значения по ^{137}Cs составляют 120 Бк/кг, 153 Бк/кг и 25 Бк/кг сухой массы.

Рассматриваемый разрез водосбора озера Куяныш, как и разрез в элювиальном элементе ландшафта, характеризуется синхронно убывающей удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs до глубины 45 см. Величины удельной активности ^{137}Cs одного порядка с величинами удельной активности ^{90}Sr . Для почвенных разрезов водосбора озера Травяное удельная активность ^{90}Sr в верхних слоях в 7,5–10 раз превышает удельную активность ^{137}Cs , в то время, как для верхних слоев почв водосбора озера Шаблиш удельная активность ^{137}Cs в 2–7 раз превышает удельную активность ^{90}Sr .

Для почв водосборов озер Шаблиш и Травяное на глубине до 25 см распределено 58% и 83,5% удельной активности ^{90}Sr , что свидетельствует о большей подвижности радионуклида по сравнению с почвами элювиальных позиций. Величины средних соотношений удельных активностей $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ для почвенных разрезов водосборов Куяныш и Шаблиш составляют, соответственно, 1,1 и 0,45, в то время, как для почв водосбора озера Травяное эта величина составляет 6,2, что согласуется с данными, полученными для элювиальных позиций водосборов. Большее проникновение радионуклидов по глубине почвенного профиля, а также меньшие значения величины $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ для почв супераквальных позиций по сравнению с элювиальными почвами, вероятно, связаны с режимом увлажнения супераквальных почв и возможностью вымывания радионуклидов.

Таким образом, для всех исследованных почв водосборов озер дальней зоны ВУРС характерно накопление долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в верхних горизонтах почвенных профилей, характеризующихся наибольшим содержанием органического вещества. ^{90}Sr обладает большей

миграционной подвижностью по сравнению с ^{137}Cs , за исключением почв водосбора озера Куяныш, где близкие значения величин удельной активности радионуклидов по всему почвенному профилю можно связать с выпасом рогатого скота, приводящим к высокому накоплению органического вещества.

На характер накопления и распределения радионуклидов влияет не только удаленность объекта от эпицентра аварии, но и характер режима увлажнения почв и их контакт с водной массой водоема: почвы супераквальных позиций характеризуются большей миграционной способностью поллютантов, а также возможностью их вымывания, приводящей к вторичному загрязнению водоема. Отличие закономерностей распределения радионуклидов в почвах водосбора озера Травяное может быть объяснено мероприятиями защитного характера, проводимыми после аварии 1957 г: внесение в экосистему водоема нескольких тонн навоза могло привести к изменению миграционных процессов, что привело к возникновению миграционных процессов, объединяющих экосистему озера Травяное с озерами средней зоны ВУРС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ – Урал № 10-05-96012).

ЛИТЕРАТУРА

Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв. М.: Высшая школа, 1981. 400 с.

Левина С.Г., Аклеев А.В. Современная радиэкологическая характеристика озерных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа. М.: Радэкон, 2010. 238 с.

Подтесов Г.Н., Аклеев А.В. и др. Челябинская область: ликвидация последствий радиационных аварий. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 2006. 340 с.

Позолотина В.Н., Молчанова И.В. и др. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. Екатеринбург: Гощицкий, 2008. 203 с.

Почвенная карта Челябинской области 1985 г. 1:300 000. Омск: ГУГК СССР, 1990. 1к.

Трапезников А.В. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах. Екатеринбург: АкадемНаука, 2010. 500 с.

Трапезников А.В., Молчанова И.В. и др. Миграция радионуклидов. Т.1. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2007. 479 с.