

Техногенные радионуклиды в окружающей среде Западной Сибири (источники и уровни загрязнения)

Ф. В. СУХОРУКОВ, И. Н. МАЛИКОВА, В. М. ГАВШИН, С. И. КОВАЛЕВ,
Б. Л. ЩЕРБОВ, М. С. МЕЛЬГУНОВ, В. Д. СТРАХОВЕНКО, В. М. ЦИБУЛЬЧИК

*Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3*

АННОТАЦИЯ

Дана общая оценка загрязнения территории Западной Сибири техногенными радионуклидами из разных источников глобальных локальных выпадений от взрывов (на Семипалатинском и Новоземельском полигонах) и от горно-химического комбината в г. Железногорске. Основное внимание обращено на распределение радиоцезия как индикатора былых радиоактивных выпадений в почвах, торфяных залежах, растениях, хвойных подстилках. Во всех обследованных районах установлено не только глобальное (около 50 мКи/км²), но и локальное загрязнение (до 100–150 мКи/км²). Вклад в суммарное загрязнение чернобыльской компоненты по соотношению ¹³⁷Cs/¹³⁴Cs не превышает 5–10 %. Представлена карта современного распределения ¹³⁷Cs в почвах Алтая. Делается вывод о том, что в настоящее время радиационная обстановка на территории юга Западной Сибири не представляет опасности для здоровья населения.

Западная Сибирь составляет значительную часть Северного полушария Земли, и вся ее территория длительно загрязнялась техногенными радионуклидами от глобальных выпадений радиоактивных веществ, образовавшихся при испытаниях ядерного оружия, проведенных США, СССР, Великобританией в 1945–1962 гг. и позже Китаем и Францией. Сегодня наиболее значимыми радионуклидами в окружающей среде (ОС) являются долгоживущие ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и изотопы плутония. Для большей ее части (степные, лесостепные и предгорные ландшафты) путем экспертной оценки многих архивных, расчетных и экспериментальных (измерения содержаний ¹³⁷Cs в почвах) данных получена величина глобального фона активности ¹³⁷Cs в почвах, равная 50 мКи/км² (1,85 кБк/м²) на 1995 г. Заметим, что в глобальных выпадениях на территории Сибири есть небольшая доля (не более 10 %) чернобыльского радиоцезия, о чем можно судить по соотношению активностей ¹³⁷Cs/¹³⁴Cs. Уста-

новлено, что основными депонирующими радионуклиды компонентами ОС Западной Сибири являются целинные почвы, донные отложения озер и торфяные залежи. Именно в них сейчас сосредоточены основные запасы техногенных радионуклидов.

В результате проведенных на полигонах испытаний, особенно наземных и низких воздушных, заметная часть радиоактивных продуктов не попала в стратосферу, а выпала на прилегающих территориях, образовав различной формы и протяженности пятна и полосы (локальные и региональные загрязнения). Этот тип загрязнений нанес заметный ущерб здоровью населения, так как при таком загрязнении наибольший вклад в облучение, как внешнее, так и внутреннее, давали короткоживущие радионуклиды, составляющие > 90 % выхода всех радионуклидов, включая и наведенные, при ядерных взрывах.

Еще одним типом источников загрязнения ОС Западной Сибири, может быть самым

"грязным", являются предприятия ядерного топливного цикла – Сибирский химический комбинат (г. Северск, вблизи Томска) и комбинат "Маяк" на восточном склоне Урала. На этих комбинатах наработана основная часть оружейного и энергетического плутония, следствием чего является накопление большого количества радиоактивных жидких и твердых отходов разной степени активности.

К сожалению, на обоих комбинатах случались аварии, особенно катастрофическое на "Маяке" в 1957 г. – восточно-уральский радиоактивный след (ВУРС), когда было выброшено в ОС около $20 \cdot 10^6$ Ки радиоактивных веществ. Результаты по оценке этих загрязнений опубликованы и продолжают публиковаться [1–3].

Площади радиоактивных загрязнений от источников ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) по активностям долгоживущих радиоизотопов обычно имеют вытянутые очертания, ограниченные поймами рек, в которые напрямую сбрасывались отходы и до настоящего времени поступают из мест захоронения.

На протяжении последних 7 лет в рамках государственных программ "Полигон" и "Сибирь" (радиоэкологический блок) по заданию Президиума СО РАН, а также по заказу Новосибирской областной администрации, администрации республик Алтай и Тува и Ямало-Ненецкого национального округа Аналитическим центром ОИГТМ СО РАН в сотрудничестве с другими учреждениями СО РАН выполнен большой объем работ по изучению загрязненности территории Западной Сибири техногенными радионуклидами, прежде всего радиоцезием, как для установления современного ее уровня, так и для оценки былых загрязнений во время проведения ядерных испытаний на Семипалатинском и Новоземельском полигонах. Результаты этой работы по Алтаю и Новосибирской области с учетом материалов, накопленных другими организациями: НПО "Тайфун" (Обнинск), ЛИРГ (Санкт-Петербург), АГТУ, ТГУ, ИВЭП (Барнаул, Томск), Сосновгеология (Иркутск), были использованы при расчете доз облучения, полученных населением Алтайского края и Маслянинского района Новосибирской области, по ^{137}Cs , накопленному в почвах.

При проведении этих работ кроме почв изучались растения, хвойные подстилки и донные осадки замкнутых водоемов.

Главное внимание было уделено загрязнению Алтайского края, где проведен наибольший комплекс работ в связи с его близостью к Семипалатинскому полигону. Именно здесь были отработаны все методологические и методические основы радиоэкологохимических исследований на больших территориях.

За период испытаний 1949–1962 гг. на Семипалатинском ядерном полигоне было проведено 476 ядерных взрывов, в том числе 88 воздушных и 25 наземных [4, 5]. Самым "грязным" был взрыв 1949 г. Наиболее сильное радиационное воздействие испытала юго-западная часть Алтайского края. Далее зона повышенного влияния Семипалатинского полигона протягивается широкой полосой на северо-восток в направлении преобладающих ветров через центральные районы к территориям Новосибирской и Кемеровской областей, к республикам Тува и Алтай; радиоактивные облака от некоторых взрывов достигали Иркутской области.

В настоящее время после радиоактивного распада короткоживущих радиоизотопов, представлявших наибольшую опасность для здоровья населения, свидетелем былых выпадений является радиоизотоп ^{137}Cs с периодом полураспада 30 лет, наиболее хорошо сохранившийся в целинных почвах, которые обладают большой информативностью на былые радиоактивные выпадения.

Их информативность на загрязнение радионуклидами определяется следующими основными факторами [6]:

- степенью сохранности почвенного покрова, которая наиболее высока у целинных почв из-за хорошо развитого дернового слоя, характеризующегося высокой сорбционной способностью;

- отсутствием поверхностного механического переноса частиц почвы и водной миграции. Это горизонтальные или слабонаклонные (до 10°) площадки на вершинах, склонах или водоразделах.

При выборе мест опробования необходимо учитывать возможную аккумуляцию почвенного материала на природных геоморфологических и механических барьерах.

Установлено, что в подавляющем большинстве случаев значительная часть выпавшего на

почву радиоцезия сосредоточена в верхнем 5-сантиметровом слое, а в первых 20 см – около 90 % (рис.1). Поэтому обычно достаточно опробовать почвы на глубину 40 см [7].

Определение активности радиоизотопа ^{137}Cs проводилось в основном на гамма-спектрометрах с колодезными сцинтилляционными кристаллами NaI (Tl) размерами 200×200 мм и с колодцем $h = 150$ и $d = 70$ мм. Высокая эффективность колодезных сцинтилляторов обеспечивает достаточную чувствительность к техногенному радиоцезию в природных средах без предварительного химического концентрирования. Для отбора проб в таких случаях использовалось металлическое кольцо радиусом 41 и высотой 50 мм, обеспечивающее получение объема пробы в 264 см^3 , близкого к объему колодца в детекторе. В случае измерений ^{137}Cs и ^{134}Cs (для учета вклада чернобыльской компоненты) на ППД с применением сосудов Мариелли отбиралось несколько проб-дублей малым диаметром или большеобъемная проба с площади 1×1 м. Выборочно анализ на радиоцезий проводился на гамма-спектрометрических линейках высокого разрешения на основе ППД с порогом чувствительности $0,1 \text{ Бк/кг}$. При низких активностях ^{137}Cs для анализа проб использовалась измерительная установка в камере низкого фона, которая специально создана для определения ультрамалых содержаний радионуклидов [8].

Предел обнаружения ^{137}Cs при массовом анализе оценивается величиной порядка $1\text{--}3 \text{ Бк/кг}$. Относительная стандартная погрешность анализа не превышает 10 % вплоть до уровня 50 Бк/кг . При 17 Бк/кг она ухудшается до 19 %, а с приближением к 5 Бк/кг достигает 86 %. На уровне активности 450 Бк/кг пробы фиксированной массы при измерении на одном приборе показывают воспроизводимость с относительной погрешностью $0,1\text{--}0,7 \%$ [7]. Лаборатория аккредитована Госстандартом России и зарегистрирована в Государственном реестре под № РОСС Ру.0001.5110590 ..., лаборатория участвовала в аттестации стандартов почв и растений МАГАТЭ на ^{137}Cs и ^{134}Cs в числе 48 лабораторий европейских стран и вошла в число 10 лучших.

По результатам работ в Алтайском крае составлена карта-схема плотности загрязнения

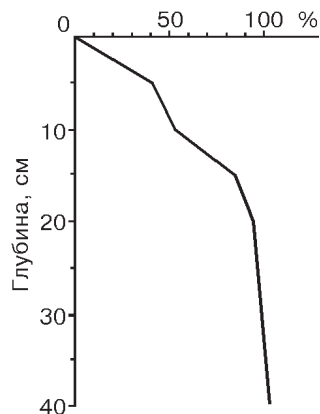


Рис. 1. Кумулятивная кривая запаса ^{137}Cs в почвенном профиле (по данным обследования более чем 388 точек).

края радиоцезием (рис. 2), дающая представление о современном его уровне на данной территории. На фоне глобальных выпадений выявлены участки, где плотность загрязнения превышает в 2–3 раза, в том числе при величине $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ -отношения, отличной от глобальной, и отдельные "горячие точки", позволяющие интерпретировать их как локальное остаточное загрязнение. Показано, что в настоящее время оно носит пятнистый, мозаичный характер. Мозаичность изначально определялась радиационной характеристикой конкретных ядерных взрывов, особенностями атмосферной циркуляции и выпадения радиоактивных осадков.

Большое влияние как на величину первичного запаса радиоцезия, так и на его сохранность в почвах оказывали ландшафтно-климатические условия края. Имеются и вторичные причины, приводящие к перераспределению радиоцезия. Так, латеральные вариации плотности загрязнения ^{137}Cs в пределах трансекта Андреевский – Курья – Новичиха соответствуют не столько конфигурации следа 1949 г., сколько переходу из низкогорной части территории в равнинную. Относительно небольшие превышения над глобальным фоном остаточных плотностей загрязнения радиоцезием в юго-западных районах края, где мощность экспозиционной дозы в период выпадения радиоактивных осадков, по данным радиационной разведки Министерства обороны, была максимальной, объясняется выносом его с частицами мелкозема в процессе ветровой эрозии почв сухостепных ландшафтов. Плохо сохранилось

остаточное загрязнение в аллювиальных почвах речных пойм и низких террас с сильно промывным водным режимом, песчаных почвах ложбин древнего стока. Исследования, проведенные даже в одном элементарном ландшафте методами конверта 10×10 м площади, показали, что часто вариации запаса ^{137}Cs далеко выходят за пределы точности анализа. Таким образом, процессы латеральной миграции и неравномерного частичного выноса радиоцезия из почвенного профиля привели за период, прошедший со времени ядерных испытаний, к появлению вторичной мозаичности пространственного распределения его запасов. Осложняя картину первичной мозаичности, она характеризует особенности распределения ^{137}Cs в текущем десятилетии, которые учитывались при ретроспективной оценке эффективных доз облучения населения Алтайского края от локальных радиоактивных выпадений [7].

Доказательством былых выпадений радионуклидов на территории **Республики Алтай** также является остаточное загрязнение почв долгоживущими радиоизотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr . Исследования, проведенные практически во

всех районах Республики Алтай, показали, что распределение плотности загрязнения радиоцезием здесь является весьма контрастным. В каждом районе, наряду со значениями на уровне глобального фона, имеется большое количество значений как ниже фона, так и превышающих его в 2–3 раза и более.

Надо заметить, что опробование территории республики проводилось в основном на площадях, прилегающих к местам проживания населения, т. е. по долинам и расположенным вблизи них горным отрогам. В почвенном покрове Усть-Канской, Курайской и Кош-Агачской котловин четко проявлена закономерность в пространственном распределении ^{137}Cs : более высокая плотность загрязнения характерна для горных почв окаймления котловин и наиболее низкая – для почв их днища.

Опробование методом конверта показало, что неоднородность распределения в пределах одного и того же элементарного ландшафта в условиях горной области может отражать весь диапазон значений запаса радиоцезия в почвах. Поэтому составление карты загрязнения территории Республики Алтай радиоцезием и ретро-

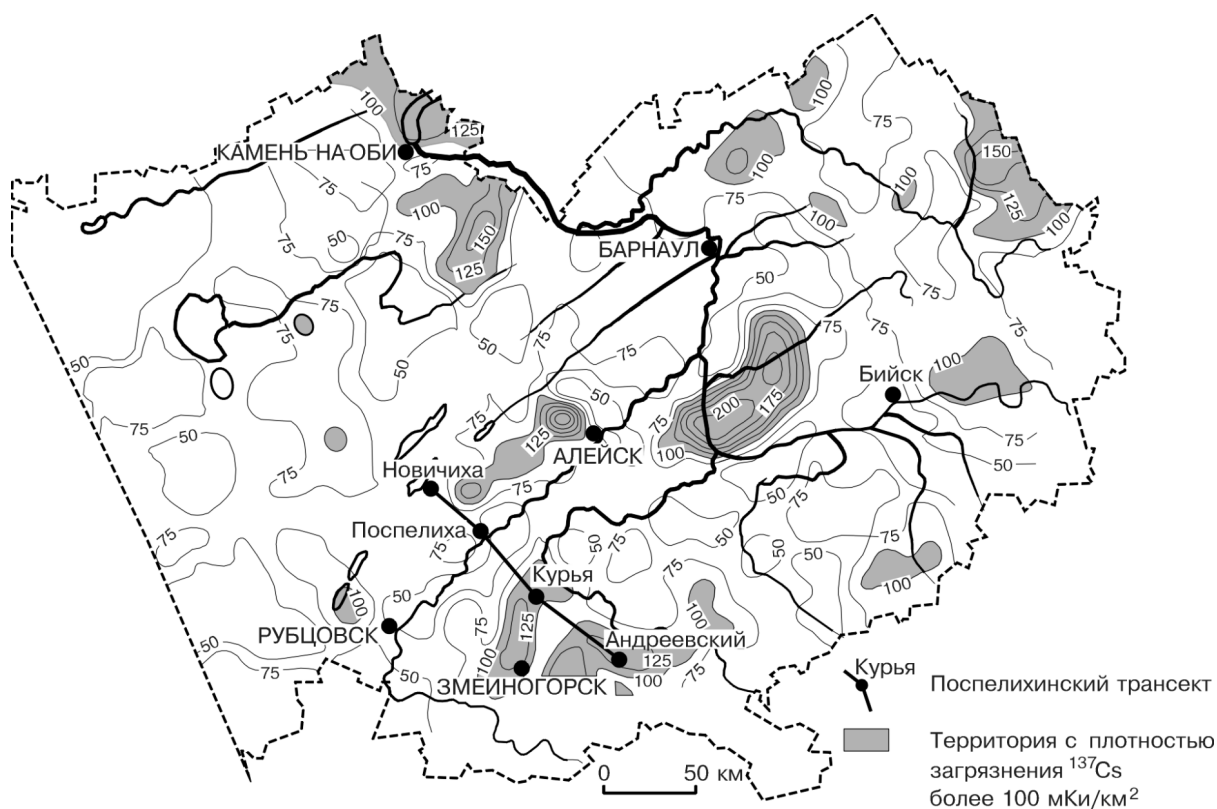


Рис. 2. Карта-схема распределения ^{137}Cs в почвах Алтайского края.

спективная количественная оценка масштабов былых загрязнений по накопленному ^{137}Cs в почвах требует более плотной сети опробования, в том числе на хребтах. Проведенные исследования позволяют однозначно утверждать, что территория Республики Алтай в своем почвенном покрове сохраняет следы не только глобальных, но и локальных выпадений радионуклидов, связанных с испытаниями на Семипалатинском полигоне. Наиболее значительные загрязнения установлены в северных районах республики. Некоторые данные по более южным районам свидетельствуют о возможном влиянии более поздних взрывов в Китае на полигоне "Лобнор".

Территория **Новосибирской области** изучена на загрязнение ее радиоцезием весьма неравномерно. Наиболее детально изучены почвы двух районов, прилегающих к Алтайскому краю – Маслянинского и Черепановского. По остальным районам имеется в настоящее время весьма небольшое количество данных. Техногенный радиоцезий пространственно распределен неравномерно. Участки почвенного покрова с повышенной активностью, превышающей глобальный фон в 2 раза и более, являются несомненным свидетельством былых локальных радиоактивных выпадений. Ретроспективный анализ доз облучения в момент выпадения радиоактивных осадков по накопленному в почвах ^{137}Cs показывает, что ряд пунктов, где они превышали 5 сзв, попадает под Указ Президента России по реабилитации населения, пострадавшего от ядерных испытаний.

На территориях других районов, в том числе и на севере области, выявлены пока единичные точки с высокими активностями радиоцезия, сопоставимыми с его активностями в почвах Маслянинского и Черепановского районов области.

Пространственное распределение радиоцезия в целинных почвах на территории **Кемеровской области и Республики Тува** также неравномерное (мозаичное) и напоминает в первом случае распределение, характерное для Алтайского края, а во втором – для Республики Алтай.

Приведенные на рис. 3 гистограммы распределения запасов ^{137}Cs в целинных почвах Алтайского края, Новосибирской и Кемеровской областей, республик Алтай и Тува показывают, что величины плотности загрязнения имеют близкое к нормальному распределение и что большая часть значений превышает глобальный фон. Точки с аномальным (от локальных источников) загрязнением чаще всего встречаются в Алтайском крае, и это объясняется не только более детальным обследованием, но и большей его близостью к Семипалатинскому полигону.

Для оценки доли чернобыльской компоненты в радиоактивных выпадениях нами было использовано определение в дерновом слое почвы, некоторых пробах мха, хвои, хвойных подстилок и растений активности ^{134}Cs , который является специфическим продуктом аварии на Чернобыльской АЭС и не образуется при ядерных взрывах. Вследствие разницы в периодах

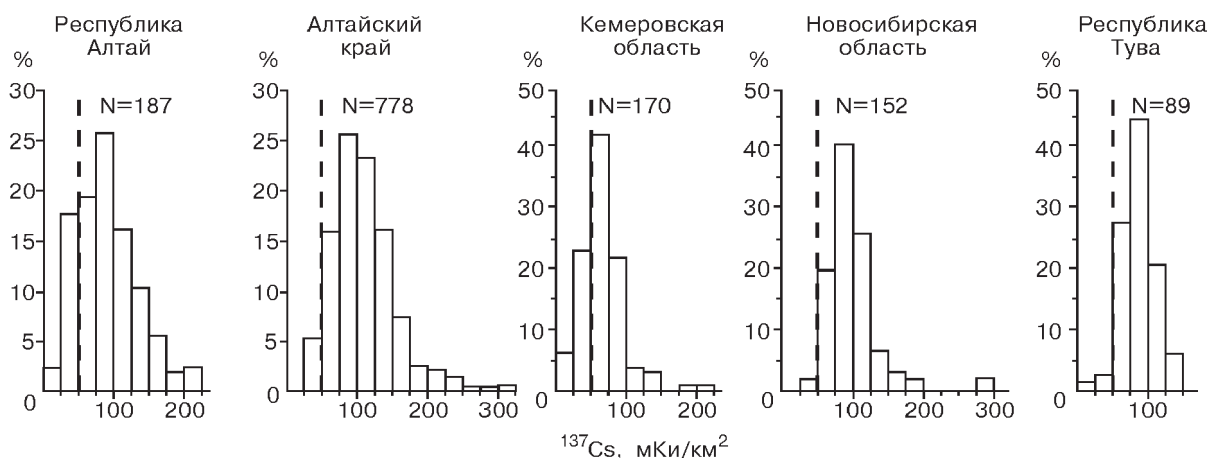


Рис. 3. Гистограммы распределения запасов ^{137}Cs в целинных почвах Западной Сибири и Республики Тува. Пунктиром обозначен уровень глобального фона (50 mCi/km^2).

полураспада отношение $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ постепенно увеличивается от 2,0 в 1986 г. до 17,9 в 1993–1994 гг. Анализ показывает, что, если в опилках мхов, верхних слоях хвойных подстилок и высших растениях преобладающей является чернобыльская компонента ($^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ менее 20), то в рогожке мха и более глубоких слоях подстилок отношение $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ существенно возрастает или становится бесконечно большим, что свидетельствует о присутствии в них только "дочернобыльского" радиоцезия. Вклад чернобыльской компоненты в почвенное загрязнение, аккумулирующее в полной мере "бомбовый" радиоцезий, составляет не более 5–10 %.

В целом современная радиационная обстановка от былых выпадений техногенных радионуклидов на территории юга Западной Сибири не представляет опасности для здоровья населения. В то же время в процессе исследования почв всей этой территории не было выявлено ни одного района, который с полным основанием можно было бы принять за фоновый. Это касается также некоторых районов Новосибирской и Кемеровской областей, которые обследовались рекогносцировочно и где локальное загрязнение радиоцезием было обнаружено по единичным точкам опробования. Следовательно, начатые работы должны быть продолжены.

Поскольку ядерные испытания на Семипалатинском полигоне проводились в основном в осеннее и летнее время, радионуклиды выпадали на почву, покрытую растительностью. Поэтому именно на растения осаждалась главная масса радиоизотопов в период интенсивных радиоактивных выпадений. Однако процесс поглощения растворимой фракции радиоцезия различными органами растений протекает сравнительно медленно, и основная часть поступивших на поверхность растений радионуклидов смывается с них атмосферными осадками, удаляется ветром и другими природными факторами.

Для оценки роли растений в общем радиационном загрязнении территории, учитывая важность их характеристики в связи с возможностью поступления радионуклидов по пищевым цепям в организм человека, нами было исследовано несколько сотен проб высших растений (более 50 видов), в том числе кормовых трав, более 350 проб мхов и лишайников, более 350 проб хвойных подстилок. Установлено, что высшие растения в текущем десятилетии прак-

тически не содержат радиоцезия: в большинстве случаев активность ^{137}Cs в них ниже предела обнаружения. Практически постоянно ниже предела обнаружения активность ^{137}Cs в сеяных и дикорастущих кормовых травах. Из проанализированных проб растений Горного Алтая радиоцезий установлен надежно только в курильском чае, шикше, карликовой березе, брусничнике, бадане, багульнике. В целом современная активность ^{137}Cs в корнях несколько выше, чем в надземной части, хотя в некоторых случаях отмечены и обратные отношения.

Кроме дикорастущих растений в некоторых поселках Алтайского края обследованы овощи с личных подворий граждан. В них радиоцезий не обнаружен.

Активность радиоцезия в травяно-лиственных и травяных подстилках отражает накопление его за 2–3 года их сохранности и поэтому несколько выше, чем в высших растениях. В среднем, по данным анализа 116 проб Алтайского региона, она составляет 25 Бк/кг.

Хвойные подстилки обычно отличаются от травяно-лиственных и травяных большей мощностью из-за большей устойчивости опавшей хвои к разложению. Известно, что при осаждении радиоактивных аэрозолей на хвойный лес они на 90–100 % задерживаются кроной деревьев и в среднем через 5–7 лет 95–99 % выпавших на лес загрязнений аккумулируется в хвойной подстилке [9].

Вертикальное распределение ^{137}Cs в разрезе хвойных подстилок характеризуется обычно появлением на глубине одного-двух максимумов активности, где она достигает 300, а иногда и 500–800 Бк/кг при модальном значении 150 Бк/кг (рис. 4).

По нашим данным, в подстилках хвойных боров Алтайского края в 1994 г., т. е. через 32 года после окончания наземных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне, содержится 40–100 % общего запаса радиоцезия на занимаемой ими площади, в том числе и от локальных выпадений.

Активность радиоцезия в верхних слоях хвойных подстилок соответствует уровню его современных глобальных выпадений, что подтверждается ее корреляцией с содержанием в них ртути, обусловленным атмосферным поступлением [10].

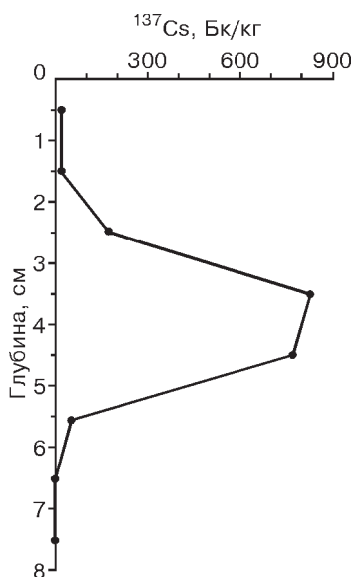


Рис. 4. Вертикальное распределение ¹³⁷Cs в хвойных подстилках.

Мхи и лишайники из-за медленного нарастания и отмирания биомассы, большой сорбционной емкости и прочности фиксации высокодисперсных радиоактивных частиц, выпадающих из атмосферы, накапливают значительные количества радионуклидов. Средняя плотность загрязнения наземных мхов радиоцезием в пределах юга Западной Сибири составляет 130 Бк/кг. Еще более высокой радиационной активностью характеризуются мхи с деревьев и пней – в среднем 208 Бк/кг. В лишайниках типа ягеля уровень загрязнения радиоцезием сильно колеблется от десятков (юг Западной Сибири) до 372 Бк/кг (Ямал).

Максимальные концентрации радиоцезия установлены в рогожке, вследствие этого с глубиной моховых разрезов накопление радиоцезия возрастает, уменьшаясь при переходе к почве [11].

Таким образом, активность радиоцезия в верхних слоях хвойных подстилок и наземной части мхов (очес) является индикаторной при выявлении площадей современного локального загрязнения; при ретроспективном анализе наиболее информативными являются рогожка и глубокие слои мощных подстилок, которые "сохраняют память" о былых выпадениях. Особое место в ряду природных сред, улавливающих радиоцезий, занимают современные торфяные залежи, распространенные на огромных пространствах Западной Сибири. Исследова-

ния выпуклых олиготрофных болот (Кирсановское и Газопроводное), слабоосушенного – мезотрофного (Еловочное) и евтрофного (Клюквенное) в междуречье Оби и Томи в 30–40 км от г. Томска, к юго-западу, показали возможность использования их в качестве природных планшетов при изучении современного и былых загрязнений радионуклидами и тяжелыми металлами больших сибирских территорий.

Распределение запасов радиоцезия в торфах верхового типа хорошо согласуется с минеральной составляющей (зольностью) и несомненно свидетельствует об их синхронном аэрозольном выпадении. К тому же запасы радиоцезия в торфах верхового типа (49 мКи/км²) на 1998 г. точно соответствуют оценке глобального фона ¹³⁷Cs в минеральных почвах Западной Сибири (50–60 мКи/км² на 1994 г. [12]) (рис. 5).

В последние два года нами начаты работы по изучению радиоактивного загрязнения реки Енисей от производств в г. Железногорске, которые проводятся совместно с КНЦ СО РАН (СКТБ "Наука", Институт биофизики и Институт леса). Первые полученные нами результаты полностью подтвердили ранее опубликованные данные [13–15] о значительном загрязнении затопляемой части поймы и островной системы р. Енисей, главным образом аллювиальных почв и донных отложений. Особенно высокие активности радионуклидов, прежде

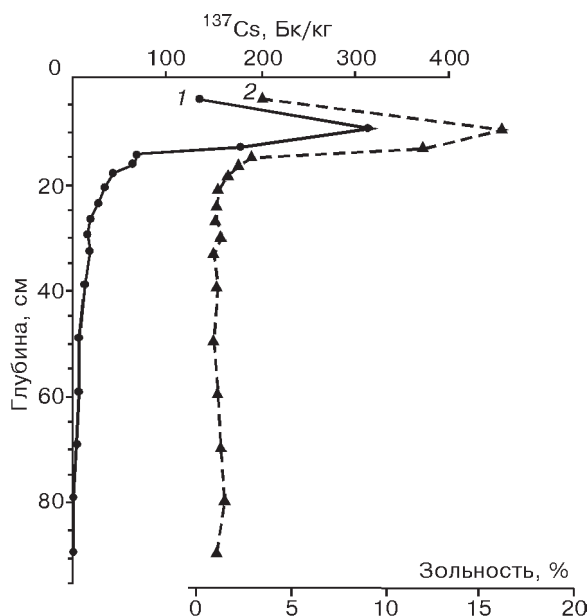


Рис. 5. Вертикальное распределение ¹³⁷Cs (1) и зольности (2) в разрезе сфагнового торфяника (Кирсановское болото, Томская обл.).

ЛИТЕРАТУРА

всего ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu и ^{60}Co , наблюдаются в аллювиальных почвах и донных осадках в ближней зоне ГХК. Участки, где запасы достигают десятков $\text{Ки}/\text{км}^2$, должны быть отнесены к таковым с твердыми радиоактивными отходами. Будучи погребенными в осадках островов, они слабо вовлекаются в перенос речным потоком при нормальном гидрологическом режиме, но при паводках могут служить серьезным промежуточным источником загрязнения ОС в пойме реки. Показано, что значительная часть ^{60}Co , ^{152}Eu и, в меньшей степени, ^{137}Cs связана с органикой или прочно сорбирована сложными алюмосиликатами, в частности гидрослюдами, слагающей наряду с полевыми шпатами и кварцем минеральную часть почв [16].

В связи с постепенным исчерпанием радионуклидов в атмосфере (баланс выпадение–поступление за счет китайских и других взрывов сильно сдвинут после 1962 г. в сторону выпадений) нет оснований ожидать возможного роста загрязнений за счет глобальных выпадений. Но широкая сеть АЭС и сохранившиеся предприятия ЯТЦ, а также радиоактивные отходы и развитие отраслей по переработке ядерного топлива продолжают оставаться серьезной угрозой загрязнения отдельных регионов Сибири радионуклидами.

Работа выполнена при поддержке интеграционных проектов СО РАН: "Радиоэкология", "Экогеохимия", "Радиация и здоровье человека"; гранта РФФИ 97-05-65235.

1. Плутоний в России (Экология, экономика, политика). Коллектив авторов под рук. А. В. Яблокова, М., 1994.
2. Л. П. Рихванов, Общие и региональные проблемы радиоэкологии, Томск, 1997, 202–347.
3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1995 г., под ред. К. П. Махонько, Обнинск, НПО "Тайфун", 1996, 45–88, 91–96.
4. Ю. В. Дубасов, С. А. Зеленцов, Г. А. Красилов и др., Вестник научной программы "Семипалатинский полигон – Алтай", 1994, 4, 78–86.
5. В. М. Лобарев, В. В. Судаков, Н. М. Волобуев и др., Там же, 8–51.
6. Ф. В. Сухоруков, И. Н. Маликова, В. М. Гавшин, С. И. Ковалев, в кн. Анализ объектов окружающей среды, Краснодар, 1998, 59–60.
7. В. М. Гавшин, Ф. В. Сухоруков, И. Н. Маликова и др., Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края, т. 1, кн. 1, Барнаул, 1993, 34–72.
8. В. А. Бобров, Ф. П. Кренделев, А. М. Гофман, Гамма-спектрометрический анализ в камере низкого фона, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1975.
9. М. Н. Лебединский, География и природ. ресурсы, 1992, 4, 22–28.
10. С. И. Ковалев, И. Н. Маликова, Ж. О. Бадмаева, А. С. Степин, Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы междунар. конф., Томск, 1996, 238–241.
11. Б. Л. Шербов, В. Д. Страховенко, Л. П. Осипова, О. Л. Посух, в кн. Актуальные вопросы геологии и географии Сибири (Материалы конф.), т. 3, Томск, 1998, 302–304.
12. Т. Т. Ефремова, Ф. В. Сухоруков, С. П. Ефремов, В. В. Будашкина, Аккумуляция ^{137}Cs в болотах междуречья Оби и Томи (в печати).
13. А. В. Носов, М. В. Ашанин, А. Б. Иванов, А. М. Мартынова, Атомная энергия, 1993, 74: 2, 144–150.
14. А. В. Носов, А. М. Мартынова, Там же, 1996, 81: 3, 226–232.
15. А. В. Носов, Метеорология и гидрогеология, 1997, 12, 84–91.
16. Ф. В. Сухоруков, М. С. Мельгунов, С. И. Ковалев, А. Я. Болсуновский, в кн. Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. (Материалы конф.), т. 3, Томск, 1998, 285–287.

Technogenous Radionuclides in the Environment of West Siberia (Radiation Sources and Pollution Levels)

F. V. SUKHORUKOV, I. N. MALIKOVA, V. M. GAVSHIN, S. I. KOVALEV, B. L. SHCHERBOV, M. S. MELGUNOV, V. D. STRAKHOVENKO, V. M. TSYBULCHIK

A general estimate of the West Siberia territory pollution with technogenous radionuclides from various sources of global local fallouts from explosions (in the Semipalatinsk and Novaya Zemlya testing grounds) and from the Zelenogorsk mining-chemical integrated plant is given. The main attention is paid to distribution of radiocesium as an indicator of former radioactive fallouts in soils, peat deposits, plants, coniferous beddings. In all the examined regions not only the global (about $50 \text{ mCi}/\text{km}^2$), but also the local (up to $100\text{--}150 \text{ mCi}/\text{km}^2$) pollutions were estimated. The contribution of the Chernobyl component with respect to $^{137}\text{Cs}/^{134}$ does not exceed 5–10 %. A map of modern ^{137}Cs distribution in soils of the Altai is presented. The conclusion is made that at present the radioactivity state in the south of West Siberia territory is not dangerous to population health.