

## О неоднородности современного распределения радиоцезия в почвах Западной Сибири.

И.Н.Маликова, Ф.В.Сухоруков, В.Д.Страховенко, Б.Л.Щербов  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт геологии и минералогии СО РАН,  
г. Новосибирск

Территория Западной Сибири, кроме глобальных радиоактивных выпадений, многократно подвергалась локальному загрязнению техногенными радионуклидами в период наземных ядерных испытаний на Семипалатинском (1949 – 1962 г.г.) и Новоземельском (1955 – 1962 г.г.) полигонах. Наиболее сильное радиационное загрязнение от Семипалатинского полигона получила территория Алтайского края.

Анализ архивных данных о метеообстановке при проведении атмосферных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне показал, что, по крайней мере, для 13 из них был характерен северо-восточный и восточный перенос воздушных масс далее на территорию Сибири, прежде всего на Республики Алтай и Тува, Новосибирскую, Кемеровскую и Иркутскую области.

Главным компонентом ландшафтов, аккумулирующим техногенные радионуклиды, являются почвы. В связи с недостаточностью результатов прямых измерений уровней радиоактивных загрязнений в период проведения ядерных испытаний, разработаны и аккредитованы методики реконструкции доз облучения населения, использующие величину накопленного осадка  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на почве [1].

Систематические исследования радиационного загрязнения территории Западной Сибири были начаты в начале 90-х годов. Наибольший объем работ был выполнен усилиями многих организаций по Алтайскому краю в рамках программы «Семипалатинский полигон-Алтай». В дальнейшем наши работы на территории Западной Сибири были продолжены [2].

Анализ проб на радиоцезий проводился массовым гамма-спектрометрическим методом по разработанной методике с чувствительностью 1-3 Бк/кг [3]. Правильность определения  $^{137}\text{Cs}$  оценивалась сравнением данных, полученных по стандартным образцам МАГАТЭ УАЕА-0375 и УАЕА-0373 и анализом на полупроводниковом детекторе. Вплоть до уровня 50 Бк/кг относительная стандартная погрешность не превышала 10%. При 17-20 Бк/кг она ухудшалась до 19-20%, а с приближением к пределу обнаружения достигала 85%. Поскольку результаты были получены в течение длительного периода времени, в некоторые основные данные введены поправки на радиоактивный распад (пересчет на начало XXI века) (таблица 1).

Таблица 1.

Средние значения плотности загрязнения целинных почв радиоцезием на территории Западной Сибири, мКи/км<sup>2</sup> (в пересчете на 2000год).

Регион	$^{137}\text{Cs}$ , мКи/км <sup>2</sup>	Количество точек наблюдения
Алтайский край	$\frac{70}{9-248}$	741
Новосибирская область	$\frac{67}{20-290}$	204
Республика Алтай	$\frac{69}{3-173}$	231
Кемеровская область	$\frac{56}{0-181}$	170
Ямало-Ненецкий автономный округ	$\frac{28}{0-87}$	19
Республика Тува	$\frac{62}{0-134}$	135

Примечание. В числителе – среднее, в знаменателе – пределы вариации.

Исследования показали, что распределение радиоцезия в почвах Западной Сибири носит мозаичный характер, но причины и масштабы этого различны. Первичная мозаичность радиационного загрязнения определяется особенностями конкретных ядерных испытаний и условиями выпадения радиоактивных осадков. Задача ретроспективного восстановления величин былых радиоактивных выпадений осложнялась тем, что за годы, прошедшие после прекращения атмосферных ядерных испытаний, произошло значительное латеральное и вертикальное перераспределение техногенных радионуклидов. Неоднородность распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почве установлена при сравнении проб, отобранных в одном элементарном ландшафте на площадках незначительно удаленных друг от друга. Большая часть таких наблюдений была сделана на территории Алтайского региона.

Площадка размером  $1 \text{ м}^2$  возле с. Курья Алтайского края была опробована в шахматном порядке: 13 проб в верхнем 2,5 сантиметровом слое и 13 проб в нижележащих 2,5 см. Коэффициенты вариации содержаний  $^{137}\text{Cs}$  составили соответственно 14 и 17% при средних значениях активности, что можно считать равномерным распределением, так как соответствует аналитической ошибке. Степень неравномерности распределения радиоцезия в элементарных ландшафтах показали также определения плотности загрязнения по 5 точкам методом «конверта». Эти результаты свидетельствуют, что различие в запасах  $^{137}\text{Cs}$  на сравнительно небольших горизонтальных однородных площадках весьма значительны и доходят до 50-60% от среднего значения (таблица 2). Наиболее вероятной причиной этого является неоднородное движение воды в почве вследствие природных особенностей ее порового пространства.

Таблица 2.

Вариации плотности загрязнения радиоцезием целинных почв элементарных ландшафтов (по «конвертам»), нКи/м<sup>2</sup>.

Запас $^{137}\text{Cs}$ , нКи/м <sup>2</sup>	Размер площадки, м	Место опробования	Характеристика ландшафта
128(67-336)	10×10	Новосибирская обл.(около г.Черепаново)	Лесостепь, березовый лес, почва серая лесная
74(55-92)	10×10	Новосибирская обл.(около г. Черепаново)	Лесостепь, березовый лес. Почва серая лесная
65(39-105)	10×10	Новосибирская обл.(около г. Куйбышева)	Лесостепь, поляна в березовом лесу, почва серая лесная
100(21-154)	10×10	Алтайский край, Кытмановский район	Пихтово-березовый лес, почва дерново-подзолистая
105(92-120)	10×10	Алтайский край, Змеиногорский район	Холмистая степь, чернозем горный слаборазвитый
105(54-120)	14×14	Республика Алтай, Улаганский район	Правый борт долины р. Чуи, почва каштановая
62(35-97)	20×20	Республика Тува, Дзун-Хемчинский район	Северный склон, уклон 10-15°, чернозем южный
61(39-87)	По линии вниз по склону, 16 м	Республика Тува, пос. Ак-Дуруг	Склон горки, уклон 10°, почва лугово-черноземная
69(45-81)	8×8	Ямало-Ненецкий автономный округ	Лесотундра, поляна

Примечание. Приведены средние значения запаса, в скобках – пределы вариации.

На территории Алтайского края в 29 точках опробования отобраны пробы почв и их дубликаты на расстоянии не более 1-2 метров друг от друга. Разница в оценках запаса  $^{137}\text{Cs}$  по каждой паре проб в половине всех точек превысила 25%, 50% - в четырех точках и в одной точке оценки различались в 2 раза. Однако средние значения по обеим выборкам в пределах доверительных интервалов не различались ( $94 \pm 12$  и  $91 \pm 12$  нКи/м<sup>2</sup>). К аналогичному результату привело сопоставление данных, полученных при

исследованиях, выполнявшихся совместно с НПО «Тайфун» (г. Обнинск) на одних и тех же объектах в Угловском, Змеиногорском и Смоленском районах Алтайского края, где пробы отбирались также на расстоянии не более 1-2 метров одна от другой ( $100 \pm 10$  и  $114 \pm 10$  нКи/м<sup>2</sup>). Следовательно, статистические оценки являются более устойчивыми, по сравнению с единичными. Они удовлетворительно воспроизводятся при уровне значимости 0,05 и при достаточном объеме выборки могут быть распространены на площади целых районов, представляя наиболее обобщенную характеристику их современного радиационного загрязнения.

При выявлении локальных радиоактивных выпадений на территории Западной Сибири за аномальные значения нами были приняты плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs в почвах в 2-3 раза превышающие глобальный уровень (43 мКи/км<sup>2</sup> на 2000 г.) Для Ямало-Ненецкого автономного округа, расположенного в более высоких широтах, учитывался более низкий фон (33 мКи/км<sup>2</sup>) [4].

Количество аномальных точек составило: по Алтайскому краю - около 58%, Новосибирской области - 42%, Республике Алтай - 36%, Республике Тува - 29%, в Байкальском регионе - около 13,5%, Кемеровской области - 8% (данные 1991-94 г.г.).

Важной проблемой для корректной интерпретации натуральных данных является оценка факторов, влияющих на их информативность. Это также характеризует степень современной очистки почв в разных ландшафтных обстановках.

Максимальные искажения первичного распределения радионуклидов из-за резкого снижения запасов радиоцезия установлены в пахотных землях. Для пашен Алтайского края и Республики Алтай среднее значение запаса <sup>137</sup>Cs составило 37 мКи/км<sup>2</sup>, в почвах огородов личных подворий юго-западной части Алтайского края - 31 мКи/км<sup>2</sup>, в пахотных землях Кемеровской области - 21 мКи/км<sup>2</sup>, в Республике Тува - 7 мКи/км<sup>2</sup> (в пересчете на 2000 год). Уменьшение содержания радиоцезия связано с его заглуплением, перемешиванием, выносом с урожаем, процессами дефляции и повышенной латеральной миграции. Менее существенные искажения результатов были выявлены в почвах лесопосадок и лесополос, старых залежных земель.

В целинных почвах фактором влияния наиболее высокого ранга является ландшафтно-географическая зональность: равнинная территория, представленная зонами тундры, тайги, лесостепной, степной и сухостепной, на юге сменяется горными территориями. При обследовании почвенного покрова Алтайского края было замечено, что наиболее высокий средний уровень современного радиационного загрязнения соответствует не столько следу самого «грязного» взрыва 1949 года, а переходу от равнинной части территории к горной. Наблюдается тенденция к увеличению средних значений плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs в зависимости от общей высоты местности по направлению к горам Алтая. Так, по результатам опробования почв черноземов Змеиногорского и Курьинского районов установлен рост плотности загрязнения от равнинной и предгорной части к низкогорью и среднегорью (таблица 3). Обычно такой

Таблица 3.

Запасы радиоцезия в целинных черноземах различных ландшафтов Змеиногорского и Курьинского районов Алтайского края

Ландшафты	Средний запас <sup>137</sup> Cs, мКи/км <sup>2</sup>	Абсолютные высоты, м.	Количество точек наблюдения
Равнина	$\frac{69}{21-127}$	200-300	33
Предгорье и низкогорье	$\frac{95}{30-167}$	300-600	106
Среднегорье	$\frac{120}{70-189}$	600-870	36

Примечание. В числителе – среднее, в знаменателе – пределы колебания.

характер пространственного распределения радионуклидов в почвах связывают с повышением уровня годового количества атмосферных осадков. Однако повышенные плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  для обследованных площадей Алтайского края во многих случаях не соответствуют этой закономерности. С этих позиций также не находят объяснения близость средних значений плотности загрязнения радиоцезием в аномальных точках в пределах разных зон: в пределах равнинной части Алтайского края – 99-128 мКи/км<sup>2</sup>, в предгорье и низкогорье Алтая – 104-130 мКи/км<sup>2</sup>, Присалаирье – 98-112 мКи/км<sup>2</sup>, в Горном Алтае (в пределах Республики Алтай) – 118 мКи/км<sup>2</sup> (на 2000 год). Существенное снижение средних величин загрязнения в равнинной части, по сравнению с предгорной, низкогорной и среднегорной, зависит от меньшего количества аномальных точек в равнинных ландшафтах. Так, количество точек с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  более 100 мКи/км<sup>2</sup> увеличивается в почвах Алтайского края от 47% в равнинной и предгорной зонах до 74 % и 79 % в низкогорье и среднегорье.

Особенно редко встречаются аномальные точки в почвах гидроморфных ландшафтов, в том числе межзональных почвах пойм и террас, ложбин древнего стока, но в среднем запасы радиоцезия в этих точках такие же, как в информативных ландшафтах. Очевидно, радиоцезий сохранился здесь вследствие локального слабого проявления процессов миграции, в том числе из-за микрорельефа. Вторичного загрязнения (накопления)  $^{137}\text{Cs}$  в гидроморфных ландшафтах не наблюдалось, за исключением некоторых низовых болот (130-150 мКи/км<sup>2</sup>). В межзональных почвах Алтайского региона плотность загрязнения радиоцезием 50-100 мКи/км<sup>2</sup> составила 57 % в точках с абсолютными отметками 300-430 м и только около 36% в точках с отметками 130-300 м; количество аномальных значений более 100 мКи/км<sup>2</sup> - 14 % и 8 % соответственно.

Малоинформативны почвы северных территорий (зона тундры), где средняя активность  $^{137}\text{Cs}$ , сосредоточенная в верхнем почвенном слое, составила 42 Бк/кг. В основном они пойменные, болотные или песчанистые и почти не имеют гумусового слоя. Плотность загрязнения их радиоцезием редко в 2 раза превышает фоновые значения для этих широт. В песчаном материале активность не поднимается обычно выше 5-7 Бк/кг. Самые высокие значения удельной активности установлены в дернинках под мохово-лишайниковым покровом и в перегнившем ягеле, но эти образования следует скорее отнести к растительным подстилкам. Их вклад в суммарную плотность загрязнения почвенного покрова незначителен из-за низкого объемного веса.

В горных условиях возможность выбора представительных ландшафтов значительно выше. Предпочтительным является выбор точек наблюдения на вершинах сопков, их пологих склонах, водоразделах, перевалах, однако обследование почвенного покрова горных районов, как правило, было приурочено к селитебным территориям, чаще всего расположенным в долинах, и из-за труднодоступности не затрагивало зону хребтов.

Таким образом, ландшафтно-географическое положение территории определяет в значительной степени характер и первичной и вторичной мозаичности пространственного распределения радиоцезия. Аналогичная мозаичность устанавливается и при исследовании почв по катенам.

С ландшафтными условиями непосредственно связан тип почв. Поскольку содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах в конечном счете определяется сорбционными свойствами последних, следует ожидать различий в радиационной емкости разных типов почв в зависимости от количества в них гумуса и илистого материала. Среднее содержание радиоцезия в разных типах почв находится в прямой зависимости от количества в них точек с высокими (аномальными) содержаниями и от возможности его миграции. Наибольшая степень миграции и минимальные средние содержания радиоцезия, наблюдаются в аллювиальных почвах, выщелоченных и оподзоленных черноземах, каштановых почвах и ложбинах древнего стока. Установлен общий ряд усиления миграции  $^{137}\text{Cs}$  на глубину на основании анализа полнопрофильных разрезов, исследованных в Алтайском крае и Республике Алтай: лугово-черноземные < черноземы

жужные и обыкновенные черноземы<выщелоченные<черноземы оподзоленные<серые лесные<лугово-болотные<дерново-подзолистые[6].

В Республике Алтай слаборазвитые каштановые почвы Курайской и Чуйской котловин обладают весьма низкой радиационной емкостью. Они характеризуются каменистостью, очень небольшим количеством гумуса, слабой задернованностью, изреженной растительностью. Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах днищ Курайской и Чуйской степей в среднем составила 17 мКи/км<sup>2</sup>, Канской и Уймонской несколько выше – 39 мКи/км<sup>2</sup>; в почвах остепененных склонов в Кош-Агачском районе – 62 мКи/км<sup>2</sup>.

Наиболее информативными являются горно-лесные, горно-луговые дерновые и горно-тундровые дерново-торфянистые почвы, в которых обнаружено наибольшее количество точек с аномальными значениями плотности загрязнения (100-150 мКи/км<sup>2</sup>). В таблице 4 приводится общая характеристика загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почв некоторых районов Республики Алтай. На территории Республики Тува наиболее высокими содержаниями радиоцезия характеризуются горно-луговые почвы с хорошо развитым дерновым слоем. Аномальные значения в них зафиксированы в 22% опробованных разрезов. Минимальная плотность загрязнения установлена в пойменных и заболоченных почвах и почвах сухостепных и полупустынных ландшафтов.

Таблица 4.

Характеристика загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  целинных почв некоторых районов Республики Алтай, мКи/км<sup>2</sup>.

Районы	Средний запас $^{137}\text{Cs}$ , мКи/км <sup>2</sup>		% аномальных точек 1991-94г.г.	Количество точек наблюдения
	В генеральной выборке	В аномальных точках		
Усть-Канский	<u>74 (60)</u> 9-120	116 (101)	17,4	24
Усть-Кокский	<u>64 (48)</u> 10-117	132 (108)	15,0	35
Улаганский	<u>72 (60)</u> 17-133	126 (100)	14,3	50
Кош-Агачский	<u>57 (41)</u> 5-134	137 (112)	5,7	53

Примечание. По почвам Усть-Канского и Усть-Коксинского районов использованы результаты совместной работы с сотрудниками ИВЭП СОРАН и Майминской ГП «Алтай – Гео» (1994год). Анализы выполнены в АЦ ОИГГиМ СОРАН. Данные по почвам днищ котловин при подсчете средних учитывались. В скобках - на 2000год.

На пространственное распределение радиоцезия несомненно оказывают влияние локальные особенности выпадений, барьерная роль горных массивов, а также степень сохранности его в почвах, зависящая от плотности и мощности дернового слоя, содержания в нем органического вещества и илистой фракции. Возможные вариации глобального фона создают трудности в количественной оценке былых локальных радиоактивных выпадений в горных районах.

Уменьшение остаточного запаса радиоцезия в почвах может быть вызвано процессами эрозии и литохимической миграции, которые наиболее интенсивно проявляются на крутых горных склонах [7]. Однако при обследовании таких ландшафтов в предгорьях Алтая и Салаира это явление нами не было отмечено. Так, в предгорной части Алтая были опробованы горно-лесные темно-серые почвы и черноземы слаборазвитые на горизонтальных вершинных площадках и на склонах с углами до 15-20<sup>0</sup>. Запасы радиоцезия в почвах этих ландшафтов составили по 42 точкам наблюдения в 1992 году 124 (56-230) и 110 (53-258) мКи/км<sup>2</sup> соответственно, что в пересчете на 2000 г. с учетом радиоактивного распада составляет 103(46-191) и 91(44-212) мКи/км<sup>2</sup>. Эти средние результаты находятся в пределах ошибки и достаточно хорошо сопоставляются.

Мозаичность плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в данном случае зависит от ландшафтных особенностей конкретных точек опробования.

Большое влияние на перераспределение  $^{137}\text{Cs}$  в Алтайском крае имела ветровая эрозия почв, особенно сильная в периоды пыльных бурь, участившихся после распашки целины. В основном ветровым выносом мелкозема можно объяснить относительно невысокую плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в сухостепных почвах, которые неоднократно подвергались загрязнению от ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. Рассчитанные ранее экспозиционные дозы внешнего облучения в некоторых населенных пунктах только от следа ядерного взрыва 1949 года здесь составили до 50-179 р [8].

В некоторых случаях были установлены «опушечный эффект» и фильтрующая роль лесных массивов. Такое влияние было зафиксировано, например, вблизи с.Клепечиха, где в березовой роще среднее значение запаса радиоцезия составило 89 мКи/км<sup>2</sup>, а в степи с подветренной стороны –35 мКи/км<sup>2</sup>.

Существенную роль в перераспределении  $^{137}\text{Cs}$  играют лесные пожары: ежегодное вовлечение радионуклида в атмосферную эмиссию составляют  $1,8 \cdot 10^{12}$  Бк (или 19 Ки) [5].

Таким образом, наряду с неравномерным площадным распределением первичного радиоактивного загрязнения многие факторы являются причиной современной мозаичности. Возможность искажения данных за счет вторичного перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  следует принимать во внимание при их интерпретации, ориентируясь при подсчете доз облучения населения на информативные точки. Поскольку влияние малых доз радиации на здоровье остается дискуссионным, их наличие в окружающей среде должно детально изучаться.

#### Выводы

1. Мозаичный характер современного пространственного распределения радиоцезия в почвах Западной Сибири определяется как особенностями первичных локальных радиоактивных выпадений, так и факторами вторичного перераспределения. Он в значительной мере зависит от ландшафтно-географической обстановки.
2. Наиболее корректные результаты ретроспективной оценки радиационного загрязнения территории дают данные по почвам информативных (представительных) ландшафтов. Действие факторов, снижающих величину остаточной плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , приводит к занижению значений рассчитанных доз облучения и создает трудности при выявлении былых локальных выпадений радионуклидов на фоне глобальных. Эти трудности возрастают с течением времени, так как первичная контрастность распределения радиоцезия в почвах Западной Сибири значительно сгладилась.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-00370 и интеграционного проект СО РАН № 125.

#### Литература

1. Прокофьев О.Н., Шергина И.Т., Балабанов В.Ю. Восстановление уровня облучения по величине осадка стронция-90 и цезия-137 на почве. /Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. Барнаул, т.1, кн.3, с.137-158.
2. Сухоруков Ф.В., Маликова И.Н., Мальгин М.А. и др. Радиоцезий в почвах Сибири (опыт многолетних исследований). /Сиб. экологич. журнал 2001, т8, N2, с.131-142.
3. Бобров В.А., Кренделев Ф.П., Гофман А.М. Гамма-спектрометрический анализ в камере низкого фона. Новосибирск, Наука. 1975, 60с.

4. Израэль Ю.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В. и др. Радиоактивное загрязнение территории России глобальными выпадениями от ядерных взрывов и Чернобыльскими выпадениями. Карта по состоянию на 90-ые годы XX века. /»Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». Труды международной конференции, Москва 24-26 апреля 2000, т.1. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2000, с.138-152.
5. Щербов Б.Л. Лесные пожары как геохимическая угроза. Наука из первых рук. 2011. №3 (39).с. 120-127.
6. Мальгин М.А., Пузанов А.В. Цезий-137 в почвах Алтайского края. /Сибирский экологический журнал, 1995,№6, с.499-509.
7. Силантьев А.Г., Шкуратова И.Г. Обнаружение промышленных загрязнений почвы от атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения. / Гидрометеиздат, 1983,136с.
8. Вильданов С.З., Волобуев Н.М., Галишевский А.В. и др. Реконструкция доз внешнего облучения на следе ядерного взрыва 1949года. /Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. Материалы научных исследований. 1993.т.1, кн.3, Барнаул, с.6-39.