

**Содержание радиоактивных элементов в почвах Сибири**  
**Concentration of radioactive elements in the soils of Siberia**

В.Д. Страховенко<sup>2</sup>, И.Н. Маликова<sup>2</sup>, Л.П. Рихванов<sup>1</sup>, Б.Л. Щербов<sup>2</sup>, Ф.В. Сухоруков<sup>2</sup>,  
 Н.В. Барановская<sup>1</sup>, В.П. Агурова<sup>3</sup>

1. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
2. Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск
3. ФГУ «Центр госсанэпиднадзора в Красноярском крае», г. Красноярск

В процессе многолетних исследований получен и обобщён большой материал по содержанию естественных и искусственных радионуклидов в почвах некоторых регионов Сибири (Алтайский и Красноярский края, Республики Алтай, Бурятия, Якутия, Хакасия, Иркутская, Новосибирская, Томская области и ряд других регионов Сибири) [Сухоруков и др., 2000; Сухоруков и др., 2001; Страховенко и др., 2010; Маликова и др., 2011].

Изучение радионуклидного состава отобранных образцов почв проводилось на базе инструментальных анализов при помощи аналитиков и на оборудовании лаборатории геохимии редких, радиоактивных и благородных элементов и экогеохимии ИГМ СОРАН, ядерно-геохимической лаборатории Томского политехнического университета и ряда других аккредитованных лабораторий. Использовался комплекс ядерно-физических методов анализа, включающий лабораторную полупроводниковую  $\gamma$ -,  $\alpha$ -спектрометрию и  $\beta$ -радиометрию, полевую гамма-спектрометрию лабораторные методы запаздывающих нейтронов и нейтронно-активационного анализа, База данных по U, Th, K содержит примерно по 20 000 тысяч проб, по Sr, Pu по 1000 проб.

Уровень содержания U(Ra), Th и K в почвах изученных территорий находится в ранге значений, полученных для почвенного покрова других областей России и Мира (таблица 1).

Таблица 1

Содержание естественных радионуклидов и величина торий-уранового отношения в почвах различных регионов Сибири

Регион	U(Ra), г/г	Th, г/г	K %	Th/U
Республика Бурятия	2,2	7,0	1,9	3,1
Иркутская обл.	2	6,2	1,5	3,1
Читинская обл.	2,4	8,5	2,2	3,5
Томская область, в т.ч.	2,5	10,8	1,7	4,6
в зоне влияния ПЯТЦ	2,6	9,6		3,7
Новосибирская обл	2,2	7	1,6	3,2
Алтайский край	2	7,2	1,8	3,6
Республика Алтай	2,4	6,7	1,6	2,8
Республика Тува	1,6	4,5	1,6	2,8
ЯНАО	0,8	1,9	0,6	2,5
Республика Саха	1,3	4,4	1,8	3,4
Усредненные значения по почвам Сибири (3605 проб)	1,9	6,0	1,7	3,2
В т.ч. усредненные значения по почвам степной зоны Сибири	<u>1,8</u> 0,7-2,8	<u>7,3</u> 3,0-17	<u>1,9</u> 1,3-2,7	4,1
Усредненные значения по почвам горно-степной зоны Сибири	<u>1,9</u> 0,0-13,5	<u>5,7</u> 0,0-12,9	<u>1,7</u> 0,0-5,3	3,0
Усредненные значения почвам таежной зоны Сибири	<u>2,0</u> 0,4-3,1	<u>5,7</u> 1,7-8,1	<u>1,6</u> 1,3-2,1	2,9
Усредненные значения по почвам горно-таежной зоны Сибири	<u>2,2</u> 0,0-6,4	<u>7,6</u> 0,0-17,7	<u>1,7</u> 0,0-2,9	3,5

Средние содержания естественных радионуклидов в почвенных профилях определяются, прежде всего, радиоактивностью почвообразующих пород. Согласно работам многих авторов для разных регионов, содержание тория в почвах устойчиво, а

содержание урана возрастает в условиях аридного климата. Они составляют в Европейской части России и Западно-Сибирской низменности – Th 6,5г/т; U 1,5 г/т; (Th/U=4,4); Восточной Сибири – Th 6,4г/т; U 1,4 г/т; (Th/U=4,6), в Средней Азии и Казахстане – Th 6,7 г/т; U 2,3 г/т (Th/U=2,9) [Болтнева, 1977; Арбузов, Рихванов, 2010].

На примере нами изученных почв Сибири, подтверждается ранее отмеченная И.М.Назаровым и др. (Назаров и др., 1983) общая тенденция увеличения содержания U и Th в генетическом ряду почв бывшего СССР от болотных, к подзолистым - дерново-подзолистым - серым лесным- чернозёмам- каштановым- серозёмам(по классификации почв принятой в СССР).

Полученные авторами значения соответствуют данным других исследователей по соседним регионам и в целом близки к значениям для почв континентов [Ярошевский, 2004] и континентальных почв США (Shacklette, Hansford T.,1984). Таким образом, на представительном материале в почвах различных регионов Сибири устанавливается достаточно однообразное содержание тория, калия и во многих случаях урана. В основном на изученных территориях преобладают почвы, в которых содержания урана, тория, калия унаследованы от четвертичных суглинков и лёссов. На этом фоне четко выделяются аномальные участки с повышенной и пониженной радиоактивностью. Наиболее высокая естественная радиоактивность обнаруживается в почвах, которые формировались на высокордиоактивных гранитах, а пониженная - характерна для почв, субстратом которых являются кварцевые пески. В вертикальных разрезах почв характерно стабильное распределение естественных радионуклидов (с равномерным их содержанием во всех горизонтах и подстилающем субстрате).

В районах действия предприятий ядерно-топливного цикла (ПЯТЦ) или прилегающих к полигонам испытания ядерного оружия (ПИЯО) могут отмечаться более высокие концентрации урана (Рихванов, 2009) . При этом, на таких участках изменяются величина торий-уранового отношения (<2-2,5) и изотопные характеристики ( $U^{238} / U^{235}$ ), которые, как правило, меньше, а иногда выше сегодняшнего показателя в норме (137,8).

Общеизвестно, что начиная с 1945 года из-за испытания ядерного оружия в атмосфере, в окружающей среде, прежде всего в почве, появились чуждые биосфере техногенные радионуклиды. Радиоактивный распад, распашка земель, процессы дефляции и литогеохимической миграции привели к трансформации первичных геохимических полей их распределения и, в ряде случаев, загрязнению ландшафтов искусственными радионуклидами. Выпадение этих радионуклидов как от ядерных испытаний (глобальные выпадения) , так и от штатной работы ПЯТЦ (локальные выпадения), а также аварийных ситуаций на них, имело и имеет крайне неравномерный характер распределения на поверхности, особенно почв, что создаёт определённые методические проблемы изучения уровня их накопления.

На сегодняшний день, в Мире накоплен значительный материал по активности радиоцезия ( $Cs^{137}$ ), в меньшей мере радиостронция ( $Sr^{90}$ ) в почвах. Значительно меньше, особенно в России, есть информации по альфа-излучающим радионуклидам (Pu, Am) в почвах, которые, в силу своих ядерно-физических свойств, будут представлять основную радиоэкологическую опасность в будущем. Практически в литературе нет данных по активности в почвах изотопа  $I^{129}$ , имеющего период полураспада около 14 млн.лет.

Авторами наиболее полно на представительном материале изучен суммарный уровень удельной активности  $^{137}Cs$  в почвах различных регионов Сибири (таблица 2). Поскольку данные получены в различные годы, значение суммарного запаса радиоцезия в почвах пересчитаны на 2000 год. Распределение суммарного уровня площадной активности  $^{137}Cs$  изученных территорий носит мозаичный характер и его причины и масштабы различны (характер выпадения осадков, режимы работы ПЯТЦ и др.). Кроме  $^{137}Cs$  определены (в значительно меньшем количестве проб) другие радиоактивные изотопы:  $^{134}Cs$ ,  $^{239,240}Pu$ ,  $^{90}Sr$ . Результаты их измерений представлены в таблице 2.

Для большинства изученных регионов суммарные уровни загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Сибири превышают уровень глобального фона. В целом современная радиационная обстановка от былых выпадений техногенных радионуклидов на территории Сибири не представляет опасности для здоровья населения. Но практически во всех ландшафтных зонах Сибири обнаруживаются участки локальных выпадений, при превышении в них глобального фона в 2-3 раза и высоком  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  отношении (исследованиями ряда ученых показано, что для глобальных радиоактивных выпадений соотношение  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  может быть принято равным около 1,8 на 2000 год [Израэль, 2005]). Наибольшая плотность таких участков от глобальных выпадений (ядерные взрывы в атмосфере на Новой Земле, Лобноре, Семипалатинске и др.) характерна для территории Алтайского края и Республики Бурятия. Повышенный уровень содержания радиоцезия (до 1000 и более Бк/кг) характерен для участков, прилегающих к территории ПЯТЦ (Северск, Железногорск). Неоднородность распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах определяется влиянием многих факторов, из которых первичным является неравномерность выпадения атмосферных осадков в периоды ядерных испытаний. В дальнейшем имело место изменение конфигурации первичных ареалов под влиянием эрозионно-аккумулятивных процессов и литохимической миграции. Отмечается некоторая тенденция увеличения в 3-4 раза удельной активности  $\text{Cs}^{137}$  в почвах с севера ( $\sim 72^0$  с.ш.) на юг ( $\sim 56^0$  с.ш.) (Черняго и др., 2004).

Поступивший в почвы, после ядерных испытаний радиоцезий, до сих пор преимущественно аккумулирован в горизонте 5-15 см, а  $^{90}\text{Sr}$  проникает значительно глубже. Поэтому интервал колебаний цезий-стронцевого отношения по разрезам довольно широк: в почвах колеблется в пределах 0.1- 4.7.

Работами авторов с коллегами на юге Западной Сибири в верхних горизонтах черноземных почв определена доля «чернобыльской» компоненты  $^{137}\text{Cs}$ , которая редко превышала 10% [Гавшин и др., 2000]. Определение  $^{134}\text{Cs}$  в 12 пробах дернового горизонта почв в центральных районах Республики Саха зафиксировало его активность от 0.12 до 0.19 Бк/кг (на 2000 год). С учетом периодов полураспада, пересчеты на время выпадения показывают, что среднее количество «чернобыльского» радиоцезия в почвах составляет 74.6%. В некоторых пунктах отбора проб доля «чернобыльского» цезия достигала 100% [Сухоруков и др., 2001].

Оценка удельной активности  $^{239,240}\text{Pu}$  в почвенном покрове севера Западной Сибири, области, наиболее близко расположенной к Новоземельскому полигону, дает значения около 0.3 Бк/кг [Поляков, Мельников, 1998; Плутоний, 1994]. Средний глобальный уровень активности плутония в почвах Сибири мы оцениваем на уровне 0,2-0,4 Бк/кг (Атурова, 2001, Рихванов, 2009). Наши данные, полученные по определению плутония в почвах различных регионов Сибири, заметно превышают, оцененный для Сибири его фон (таблица 2).

Таблица 2

Содержание некоторых техногенных радионуклидов (Бк/кг) и их отношений в почвах Сибири

регион	$^{239}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
Республика Хакасия	0,34/0,10-0,68					
Алтайский край (36)**	0,36/0,7-3,5	0,02-0,8	70	<u>0,04</u> (0.04-0.06)	6-51 [112] *	<u>2,0</u> 1-6,5
Ямало-Ненецкий АО (14)	0,05-10,1	0,01-0,6	18	<u>0,32</u> (0.06-0.5)	0-31 [47]	<u>1,01</u> 0,02-4,7
Республика Саха, (13)	0,02-2,85	0,6-3,37	24	<u>1,08</u> (0.8-1.2)	1-44 [34]	<u>2,8</u> 1,5-4,3
В т.ч. из районов ПЯВ	1180/18.9-3000					
Кемеровская область	0,36/<0.1-1,74	Н.д				
Иркутская область,	0,04-2,0	0,01-0,06	38	<u>0,04</u>	6-29	<u>2,4</u>

				(0.03-0.05)	[25]	1,6-3
в т.ч. Прибайкалье	2,77/0,41-6,47					
Агинский Бурятский АО (12)	0,4-7,6	0,07-7,8	80	$\frac{1,8}{(0,1 - 4,5)}$	1-25 [31]	$\frac{1,8}{0,1-5,6}$
Томская область,	0,36/<0,1-1,81		20		50	
в т.ч. в зоне влияния ПЯТЦ	3,08/0,93-7,2		40	0,12-0,13	50	
Читинская обл.			55			
Новосибирская обл	0,41/0,11-1,0	Н.д	67			
Республика Алтай	0,41/01-1,57	Н.д	69			
Республика Тыва	0,18/< 0,1-0,38	Н.д	62			
Красноярский край,	0,32/0,1-1,98					
В т.ч. в пойме р.Енисей	5,6/0,1-48,8			0,013-0,39		

Особенно высокие уровни накопления Pu в почвах установлены в районах работы ПЯТЦ (Северск, Томская область; Железногорск, Красноярский край, в местах аварийных выбросов при проведении подземных ядерных взрывов Республика Саха-Якутия). В районе Прибайкалья существенное превышение глобального уровня плутония в почвах обусловлены спецификой выпадения атмосферных осадков в высокогорном хребте, находящемся на пути движения радиоактивных облаков, движущихся с Семипалатинского полигона (Медведев и др., 2004).

Вертикальное распределение трансурановых элементов носит ярко выраженный пиковый характер. В районе ПЯТЦ максимум их накопления в аллювиальных почвах приходится на глубину 5-6 см (F. Gauthier-Lafaye a.e., 2007).

Обращает внимание аномально высокое соотношение  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  в почвах Республики Саха, Агинского Бурятского автономного округа, Красноярского края). Одним из информативных показателей, указывающих на происхождение радиоактивного загрязнения, служит соотношение  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ , – оригинальное для каждого источника радиоактивного загрязнения. Это соотношение в глобальных выпадениях составляет - 0.036, для чернобыльских выпадений - 0.40 – 0.54. Известно что,  $^{238}\text{Pu}$  применяется для изготовления атомных электрических генераторов (например, источников энергии на борту космических исследовательских аппаратов, и т.д.). Эти данные дают основание предположить, что почвы на некоторых территориях Сибири могли быть локально загрязнены изотопами плутония от космических аппаратов, по аналогии со спутником SNAP 9<sup>a</sup> в 1964 году.

#### Литература

1. Сухоруков Ф.В., Маликова И.Н., Гавшин В.М., Ковалев С.И., Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Мельгунов М.С., Цибульчик В.М. Техногенные радионуклиды в окружающей среде Западной Сибири (источники и уровни загрязнения) // Сибирский экологический журнал. – 2000. - т.7. - № 1. - С.31-38.
2. Сухоруков Ф.В., Маликова И.Н., Гавшин В.М., Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Мельгунов М.С. Оценка загрязнения территории Сибири радионуклидами и тяжелыми металлами. // Современные подходы в решении проблем охраны генофонда народов. - Министерство образования Республики Саха (Якутия). – Якутск. - 2001. - С.70-78.
3. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н., Восель Ю.С. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер различных регионов Сибири // Геологии и Геофизики. - 2010. - т.51. - С.1501-1514.
4. Маликова И.Н., Страховенко В.Д. УРАН, ТОРИЙ И ТН/У ОТНОШЕНИЕ В ПОЧВАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ // ж. Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. - 2011. - № 1(15). - С. 26-39.
5. Ярошевский А.А Проблемы современной геохимии: Конспекты лекций // Новосиб. Гос. Ун-т, Новосибирск, 2004, 194 с.
6. Болтнева Л.И., Израэль Ю.А., Ионов В.А., Назаров И.М., Атомная энергия, 1977, с. 335-360.

7. Арбузов С.И., Рихванов Л.П. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие // Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2010, 300 с.
8. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозекологии: учебное пособие. - Томск: STT, 2009. - 430 с.
9. Израэль Ю.А. Антропогенное радиоактивное загрязнение планеты Земля // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Материалы международной конференции. - Москва, 2005. – С.13-24.
10. Гавшин В.М., Сухоруков Ф.В., Пархоменко В.С., Страховенко В.Д. и др. Следы Чернобыльской аварии в Западной Сибири // Тез. докл. Междунар. конф. Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Москва, 24-26 апр. 2000г. С.-П. Гидрометеиздат, 2000 – с.65.
11. Поляков В.А., Мельников Е.С. Оценка радиозекологической обстановки на территории северной части Западной Сибири // Криосфера Земли. - 1998. - т. 11. - №1. – с. 36-43.
12. Плутоний в России. Экология, экономика, политика. Под. ред. А.В.Яблокова. - М.: ЦЭПР, 1994. – 143с.
13. Медведев В.И., Коршунов Л.Г., Мясников А.А. и др. Радиационное воздействие ядерных испытаний на территорию и население Байкальского региона // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II международной конференции. - Томск, 2004. - С. 371-374
14. Shacklette, Hansford T. Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. (Geological Survey professional paper ;1270). UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE, WASHINGTON : 1984 Supt. of Docs. No.: 1 19.16 1. Soil United StatesA'Composition I. Boerngen, Josephine G. 11. Title. 111. Series
15. Gauthier-Lafaye F, Pourcelot L., Eikenberg J. et al. Radioisotop contaminations from releases from the Tomsk-Seversk nuclear facility (Siberia? Russia) // J. Environ. Radioactiv. - 2007.-Vol.98.-P.301-314.
16. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources. 4<sup>th</sup> Edition. -Academic Press, 1997.
17. Атурова В.П. Плутоний в почвах Красноярского края : автореф. дис... канд. биол. наук. - Красноярск, 2001.
18. Назаров И.М., Николаев А.Н., Фрицман Т.Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1983.
19. Черняго Б.П.и др. «Глобальный»цезий-137:от Байкала до Северного Ледовитого Океана.// Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II международной конференции. - Томск, 2004. - С. 637-638.