

Цельмович В. А. Чистый никель как индикатор космогенного вещества // Мат. девятнадцатого междунар. конф. «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». М., 2018. С. 330.

Yada T., Nakamura T., Takaoka N. The global accretion rate of extraterrestrial materials in the last glacial period estimated from the abundance of micrometeorites in Antarctic glacier ice // Earth Planets Space. 2004. Vol. 56. P. 67–79.

**А. А. Усачева**

*Институт геологии рудных месторождений,  
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва  
usacheva@list.ru*

### **<sup>137</sup>Cs в ландшафтах тундры и тайги Западной Сибири** (научный руководитель к.г.-м.н. А. Ю. Мирошников)

Испытания ядерного оружия в атмосфере обусловили глобальное загрязнение Земли продуктами радиоактивного распада, в том числе <sup>137</sup>Cs, который в фоновых ландшафтах является одним из главных дозообразующих техногенных радионуклидов. К началу 1980-х гг. суммарная активность <sup>137</sup>Cs, поступившего в окружающую среду в результате ядерных взрывов, составила 960 ПБк [Ионизирующее..., 1982]. Актуальность изучения поведения <sup>137</sup>Cs в ландшафтах, не подвергшихся загрязнению вследствие аварий, определяется постоянно возрастающей ролью атомной энергетики и расширением географии расположения ядерно-радиационно-опасных объектов.

Целью исследований является анализ распределения <sup>137</sup>Cs в почвах и растительности фоновых тундровых и таежных ландшафтов Западной Сибири. Объектами исследования стали почвы и растительность четырех участков в Западной Сибири, в которые <sup>137</sup>Cs поступал исключительно с глобальными выпадениями. Ландшафты трещинно-полигональной типичной тундры изучены в западной части Гыданского полуострова, на слабо расчлененном междуречье рек Яраяха и Седеяха (участок Тазовский). Болотно-лесные ландшафты исследованы в северной тайге (средняя часть бассейна р. Пур, 2 км к северу от г. Губкинский – участок Пурпе), на границе северной и средней тайги (Сибирские увалы, 4 км к северо-востоку от г. Ноябрьск) и в средней (север Тобольского материка, 3 км к югу от пос. Салым) тайге. На 50 точках заложен 51 разрез, отобрано 373 почвенных и 27 растительных образцов. Удельная активность <sup>137</sup>Cs измерена методом прямого γ-спектрометрического анализа (предел обнаружения 1 Бк/кг) с использованием полупроводникового Ge(Li)-детектора GEM-4519 (GLP-25300/13), оснащенного NaI(Tl)-детекторами 160×160 мм с колодцами 55×110 мм (ИГЕМ РАН, аналитик Р. В. Соломенников).

Поскольку <sup>137</sup>Cs поступает в изученные ландшафты преимущественно с атмосферными осадками и прочно фиксируется в верхней части органо-профиля, в почвах традиционно отмечается его поверхностно-аккумулятивное распределение. На почвенный покров приходится более 70 % от суммарного загрязнения <sup>137</sup>Cs в ландшафте. В постлитогенных почвах типично тундровых ландшафтов <sup>137</sup>Cs аккумулируется исключительно в органогенной толще почв, что, вероятно, связано с очень низким потенциалом радиальной миграции из-за короткого лета в тундре. В северной тайге

единично ( $n = 2$ ) обнаруживается низкая активность (не более 1.5 Бк/кг) в минеральном (горизонт E) и криотурбированном минеральном субстрате. В отличие от более северных ландшафтов, в почвах средней тайги высокая активность  $^{137}\text{Cs}$  обнаруживается не только в органогенной толще, но и в органо-минеральном и минеральном субстрате. Для органогенных (торфяных) почв характерно поверхностно-аккумулятивное распределение  $^{137}\text{Cs}$ , которое может нарушаться вследствие более высокой миграционной способности  $^{137}\text{Cs}$  при кислой реакции почвенного раствора и в связи с минимальным содержанием глинистых минералов, способных образовывать сорбционный барьер. В этом случае отмечается неравномерное распределение  $^{137}\text{Cs}$  с двумя или единственным максимумом на глубине 30–40 см.

Глубина проникновения значимых количеств  $^{137}\text{Cs}$  увеличивается от автоморфных почв к полугидроморфным в три раза и гидроморфным – в четыре раза (табл.) за счет увеличения подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в кислых торфяных горизонтах и почвах и более благоприятных условий для конвективного переноса в условиях высокой влагопроницаемости и высокой обменной поглотительной способности [Щеглов, 2000].

Т а б л и ц а

**Глубина проникновения  $^{137}\text{Cs}$  в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почвах Западной Сибири**

Почвы (число разрезов)	Среднее $\pm$ стандартное отклонение (размах), см
Автоморфные (8)	$4.3 \pm 3.9$ (0–13)
Полугидроморфные (8)	$12.8 \pm 8.8$ (0–30)
Гидроморфные постлитогенные (6)	$23.8 \pm 18.9$ (9–60)
Гидроморфные органогенные (25)	$16.3 \pm 13.3$ (0–50)
Гидроморфные постлитогенные и органогенные (31)	$17.7 \pm 14.5$ (0–60)

Наибольшая активность радионуклида свойственна торфяным (O, T, Th и TO) горизонтам почв. В органо-минеральных (гумусово-слаборазвитом – W и грубогумусовом – AO) горизонтах значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  обычно не превышают нескольких десятков Бк/кг, а в иллювиально-гумусовом (BH) – 10 Бк/кг, что, вероятно, связано с формированием последнего на большей глубине. Для минеральных горизонтов (E, BF, BT, G, CRM, CR), содержащих минимальное количество органического вещества, характерны уровни активности ниже предела чувствительности метода. На растительность Западной Сибири в среднем приходится 28 % от суммарной плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в ландшафте при очень высокой вариабельности ( $C_v = 97$  %). По направлению от средней тайги к северной в растительном ярусе увеличивается частота обнаружения высокоактивных (более 100 Бк/кг) проб растительности [Усачева, Семенков, 2017].

Межвидовые особенности накопления  $^{137}\text{Cs}$  естественной растительностью фоновых ландшафтов тундры и тайги Западной Сибири изучены наиболее подробно для мхов и лишайников [Щербов др., 2000; Ефремова и др., 2002; Страховенко и др., 2008].

Средняя плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в изученных ландшафтах уменьшается от моховых сообществ (представители родов *Dicranum*, *Politrichum* и *Sphagnum*) к

лишайниковым (*Cladonia* и *Cetraria*), кустарниковым (*Bétula nána*, *Lédum*, *Vaccínium*, *Rubus chamaemorus*, *Salix polaris*, *Filipéndula*) и осоковым, что связано с филогенетическими особенностями и ранее отмечалось в накоплении металлов растениями тайги и тундры Восточно-Европейской равнины [Авессаломова, 2006; Тентюков, 2010]. Ряд изученных растительных сообществ тундр и тайги Западной Сибири по уменьшению средних величин активности  $^{137}\text{Cs}$  сходен с рядом по плотности загрязнения: зеленомошный и долгомошный > лишайниковый, кустарничковый, сфагновый > осоковый [Семенков, Усачева, 2013]. Во мхах по сравнению с кустарничками и осоками даже при близких величинах удельной активности плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до 10 раз больше из-за повышенной фитомассы.

В ряду автоморфных и гидроморфных ландшафтов от типичной тундры к средней тайге Западной Сибири средняя плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  увеличивается почти в 5 раз: от 450 в тундре до 2100 Бк/м<sup>2</sup> в средней тайге. Таким образом, все исследованные ландшафты являются радиационно незагрязненными, поскольку средние величины запасов  $^{137}\text{Cs}$  не превышают 6 % от установленного в РФ норматива [Закон РФ, 1991], а максимальные – 15 %.

### Литература

- Авессаломова И. А. Биогеохимия среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2006. № 1. С. 50–56.
- Ефремова Т. Т., Сухоруков Ф. В., Ефремов С. П., Будашкина В. В. Аккумуляция  $^{137}\text{Cs}$  в болотах междуречья Оби и Томи // Почвоведение. 2002. № 1. С. 100–107.
- Закон РФ № 1244-1 от 15.05.1991 г. (в ред. от 30.11.2011 № 346-ФЗ) О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС. Справочная правовая система «Консультант плюс».
- Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты / Доклад за 1982 г. Нью-Йорк: Научный комитет по действию атомной радиации при ООН, 1982. Т. 1.
- Семенков И. Н., Усачева А. А. Цезий-137 как маркер современных почвенных турбаций // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. Вып. 7. С. 1478–1481.
- Страховенко В. Д., Хожина Е. И., Щербов Б. Л. Распределение радиоцезия и микроэлементов в системе лишайник-субстрат и в теле лишайника // Геохимия. 2008. № 2. С. 141–150.
- Тентюков М. П. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар, 2010. 260 с.
- Усачева А. А., Семенков И. Н.  $^{137}\text{Cs}$  в растениях и почвах таежных и тундровых ландшафтов Западной и Средней Сибири // В сб. Геохимия ландшафтов. Под ред. Н. С. Касимова, А. Н. Геннадиева. М.: АПР, 2017. С. 498–521.
- Щеглов А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, 2000. 269 с.
- Щербов Б. Л., Страховенко В. Д., Машкова И. Н., Сухоруков Ф. В., Степин А. С., Осипова Л. П. Сравнительная характеристика современного радиоактивного загрязнения территорий Западной Сибири, прилегающих к Семипалатинскому и Новоземельскому полигонам (на примере Алтая и Пур-Тазовского междуречья) // Сибирский экологический журнал. 2000. № 1. С. 51–60.