

УДК 504.054, 551.311.234.7

РАДИАЛЬНОЕ И ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ-137 В ПОЧВАХ ФОНОВЫХ ЛАНДШАФТОВ СТЕПЕЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Мирошников А.Ю., Семенов И.Н., Усачева А.А., Дергачева А.В.

ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии
и геохимии Российской академии наук», Москва, e-mail: semenkov@igem.ru

В статье рассмотрено радиальное и латеральное распределение цезия-137 в катенах степных ландшафтов замкнутых микроарен юга Западной Сибири. Работа основана на данных 70 проб, полученных из 18 почвенных разрезов и 4 колонок донных осадков. Основные запасы цезия-137 ($77 \pm 25\%$) сосредоточены в верхней шестисантиметровой толще. Удельная активность и плотность загрязнения ^{137}Cs преимущественно экспоненциально снижаются с глубиной. Отклонение от этого распределения чаще встречается в солончаках и дерново-глеевых почвах из-за наличия подстильных горизонтов или приноса материалов со склонов. Плотность загрязнения цезием-137 в почвах четырех ключевых участков варьирует от 0,0 до 2,9 кБк/м². Ее повышенные значения свойственны почвам озерных террас и зоны литорали, а также наиболее пониженным участкам замкнутых понижений, не заполненных водой. Минимальная плотность загрязнения ^{137}Cs свойственна донным осадкам.

Ключевые слова: чернозем, солончак, цезий-137, катена, латеральное и радиальное распределение ^{137}Cs

RADIAL AND LATERAL DISTRIBUTION OF CESIUM-137 IN SOIL BACKGROUND LANDSCAPE PRAIRIES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Miroshnikov A.Y., Semenov I.N., Usacheva A.A., Dergacheva A.V.

The Organization of Russian Academy of Sciences Institute of geology of ore deposits, petrography,
mineralogy and geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: semenkov@igem.ru

In the present study we consider lateral and radial ^{137}Cs soil distribution in steppe catenas of confined watersheds which are located in southern part of Western Siberia. The study is based on data of 70 soil samples from 18 soil profiles and 4 bulk-core samples of bottom sediments. The most part of ^{137}Cs reserves in soils ($77 \pm 25\%$) is concentrated in 6 cm surface soil layer. Cesium-137 specific activity and reserves in soils mainly decrease exponentially with depth. Deviation from this distribution often occurs in solonchak soils and sod-gley soils. Such deviations may occur in these types of soils owing to the presence of debris layers or matter inflow from the slopes. Density of cesium-137 pollution varies from 0,0 to 2,9 kBq/m² in soils of 4 key study areas. Cesium-137 higher concentrations are peculiar to the soils forming on lake terraces, in the littoral zone and in the lowest parts of confined depressed areas which are not filled with water. Bottom sediments are characterized by the lowest density of cesium-137 pollution.

Keywords: chernozem, solonchak, cesium-137, catena, lateral and radial Cs-137 distribution

В результате испытаний ядерного оружия в атмосфере цезий-137 распространился по поверхности всей планеты за счет глобальных радиоактивных выпадений. В настоящее время ^{137}Cs обнаруживается в растительности, в верхних почвенных горизонтах, в водной среде и донных осадках рек, озер, морей и океанов, определяя существенную часть радиоактивного фона на большей части планеты.

В основном изучение миграции цезия-137 проводилось на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий. В последнее время его поведение изучалось на примере фоновых ландшафтов тайги и тундр Западной Сибири [Пузанов и др., 2008; Miroshnikov, Semenov, 2012; Balykin et al., 2013; Семенов и др., 2013, 2014]. Меньшее число работ посвящено анализу распределения ^{137}Cs в почвах степных ландшафтов [Маликова и др., 2005; Egorova et al., 2012]. Однако до сих

пор не освещены вопросы, связанные с распределением цезия-137 в сопряженных рядах почв фоновых ландшафтов Западной Сибири.

Цель представленного исследования – изучить латеральное и радиальное распределение цезия-137 в степных катенах юга Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Объекты исследований – почвы фоновых ландшафтов четырех замкнутых водосборов, расположенных в степной зоне Западной Сибири (рис. 1), куда цезий-137 поступал в виде глобальных радиоактивных выпадений. На каждом из участков разрезы закладывали по профилю: от водораздела к местному базису эрозии. На ключевом участке «Горькое» изучена катена, на которой сорнотравная растительность междуречья, произрастающая на черноземе южном старопашатном, сменяется на коренном склоне злаковой растительностью на черноземе неполнопрофильном, а на солончаках озерных террас сменяется солянковыми и разнотравно-солянковыми сообществами (рис. 2, а).

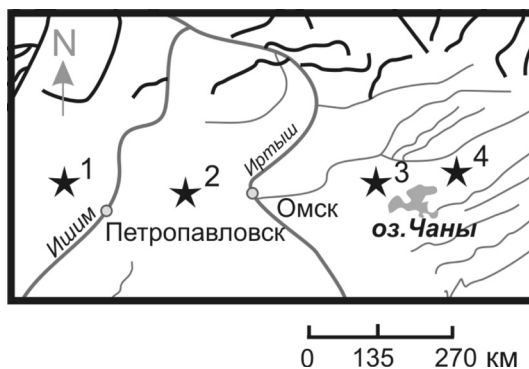


Рис. 1. Расположение ключевых участков: 1 – Горькое, 2 – Падина, 3 – Ембакуль, 4 – Круглое

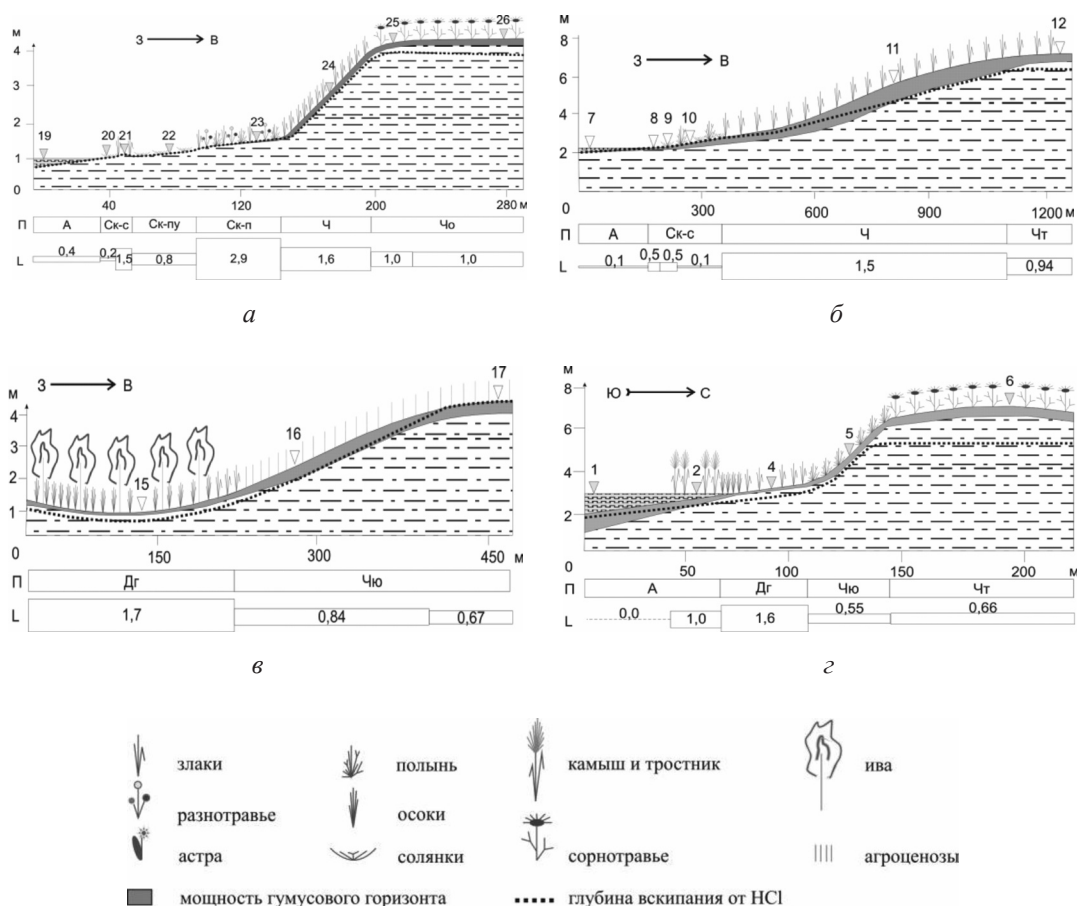


Рис. 2. Распределение цезия-137 глобальных выпадений в ландшафтах ключевых участков: а – Горькое, б – Ембакуль, в – Падина, г – Круглое. Почвы (П): А – донные осадки, Ск-с – солончак сорный, Ск-пг – солончак полугидроморфный, Ск-пу – солончак пухлый, Ч – чернозем неполнопрофильный, Чю – чернозем обыкновенный, Чт – чернозем типичный, Чю – чернозем южный. L – плотность загрязнения цезием-137 почв, kBq/m²

Структуры почвенного и растительного покровов схожи на ключевых участках «Ембакуль» и «Горькое» (рис. 2, а, в): междуречье занято бодяково-вейниковым лугом на целинных черноземах типичных, которые на коренном склоне сменяются разнотравно-злаковым лугом на черноземе неполнопрофильном глееватом (глееземе темногомусовом), солянковыми и разнотравно-солянковыми сообществами на солон-

чаках озерных террас. Вероятно, для водосборов замкнутых соленых озер степной зоны Западной Сибири типичны сочетания зональных подтипов черноземов, которые на склоне сменяются неполнопрофильными аналогами, а на озерных террасах с выпотным водным режимом – солончаками.

В катенах водосборов пресных озер и замкнутых понижений наблюдается иная структура

почвенного покрова: междуречье и его склон заняты полнопрофильными зональными почвами, которые в подчиненных позициях замещаются дерново-глеевыми (рис. 2, в, г). На участке «Падина» междуречье и коренной склон заняты агроценозом на черноземе южном, который сменяется в днище блюдцеобразного понижения ивняком осоково-зеленомошным (рис. 2, в).

На ключевом участке «Круглое» черноземы типичные старопахотные междуречья под сорнотравным лугом сменяются на озерной террасе глееземом перегнойно-темно-гумусовым поверхностно-карбонатным (дерново-глеевой карбонатной почвой) под осоковым сообществом (рис. 2, г). На коренном склоне южной экспозиции под ковыльным лугом сформировались экстраординарные почвы – черноземы южные.

Из каждого почвенного разреза послойно из фиксированного объема отобраны образцы для расчета плотности загрязнения цезием-137 до нижней границы гумусово-аккумулятивного горизонта, но не менее чем до глубины 15 см. Образцы донных осадков отбирали ручным пробоотборником диаметром 42 мм из слоя 0–30 см.

Удельная активность ^{137}Cs определена в 70 пробах, полученных из 18 разрезов и 4 колонок донных осадков, в лаборатории радигеологии и радиогеоэкологии ИГЕМ РАН методом прямого γ -спектрометрического анализа с использованием полупроводникового Ge(Li)-детектора GEM-4519 (GLP-25300/13), оснащенного NaI(Tl)-детекторами 160×160 мм с колодцами 55×110 мм (аналитик Р.В. Соломенников).

Результаты исследования и их обсуждение

1. Радиальное распределение удельной активности цезия-137 в большинстве изученных почв (черноземы, солончаки и глееземы) носит экспоненциальный характер. Распределение же плотности загрязнения цезием-137 по глубине почв отклоняется от поверхностно-аккумулятивного в пяти разрезах. Значимая (более 3 Бк/кг) активность ^{137}Cs обнаруживается, как правило, в слоях на глубине до 6–7 см, где сосредоточены его основные запасы ($77 \pm 25\%$, $n = 18$).

Остановимся подробнее на почвах, в которых график радиального распределения удельной активности и плотности загрязнения ^{137}Cs отличается от экспоненты.

В освоенных черноземах междуречья и коренных склонов слабая активность (3–5 Бк/кг) обнаруживается в старых и современных пахотных горизонтах до глубины 20 см. Отношение активности ^{137}Cs в верхней (0–10 см) и нижней (10–20 см) части пахотного горизонта варьируется от 2,2 до 0,9 при среднем 1,5 ($n = 5$).

В глееземах, сформировавшихся в супераквальных позициях (разрезы 4 и 15 – на рис. 2), куда возможно поступление материала с боковым стоком, цезий-137 выявляется до глубины 10 см, где его активность

находится в диапазоне 10–100 Бк/кг. При этом в разрезе 4 его плотность загрязнения экспоненциально снижается с глубиной, а в разрезе 15 максимальный уровень этого показателя (1,1 кБк/м²) обнаружен в третьем от поверхности почвы слое, полученном из глубины 6–8 см. В нижележащей двухсантиметровой толще плотности загрязнения ^{137}Cs снижается до 0,14 кБк/м².

В соровом солончаке (разрез 10, на рис. 2, б) верхней части озерной террасы ключевого участка «Ембакуль» повышенные уровни удельной активности и плотности загрязнения цезием-137 (3,0 Бк/кг и 0,079 кБк/м² соответственно) обнаружены в слое на глубине 3–6 см, в то время как в приповерхностной части значения этих показателей составляют 1,5 Бк/кг и 0,035 кБк/м².

В соровом поверхностно-карбонатном солончаке (разрез 20 – на рис. 2, а) ключевого участка «Горькое» опробованы окисленная и восстановленная (с гидротроилитом) пленки мощностью 2–3 мм каждая, лежащие на поверхности глеевого горизонта. Активность цезия-137 в них отличается незначительно и составляет $9,0 \pm 1,9$ Бк/кг и $7,9 \pm 1,5$ Бк/кг соответственно. В нижележащей десятисантиметровой толще глеевого горизонта активность снижается до $1,1 \pm 0,7$ Бк/кг. Однако за счет различий в плотности и мощности именно в последнем сосредоточены главные запасы цезия-137 (80%).

Нарушение экспоненциального распределения плотности загрязнения цезием-137 свойственно солончакам, в верхней части которых имеется грубогумусовый горизонт (разрезы 11 и 21 – на рис. 2). В этих почвах в грубогумусовом горизонте мощностью 3 см плотность загрязнения ^{137}Cs составляет 0,3–0,4 кБк/м², а в нижележащей минеральной толще возрастает за счет увеличения плотности до 1,0–1,4 кБк/м², снижаясь на порядок на глубине ниже 10 см.

2. Латеральное распределение цезия-137. Во всех изученных катенах наблюдается контрастное распределение плотности загрязнения цезием-137 в почвах (рис. 2), хотя он считается слабо подвижным в нейтральной и слабощелочной обстановке, что должно было бы определять его равномерное распределение по аналогии со слабокислыми почвами южнотаежных ландшафтов Западной Сибири.

На ключевом участке «Горькое» повышенная плотность загрязнения цезием-137 выявлена в ландшафтах крутого склона и верхней озерной террасы (разрезы 23 и 24 на рис. 2, а), что, вероятно, связано с его аккумуляцией на латеральном

щелочном барьере. Аналогичный показатель в донных осадках (разрез 19) существенно ниже по сравнению с почвами междуречья и склонов. Возможно, это связано с перераспределением ^{137}Cs , выпадающего на периферийную часть поверхности озера. Так в период повышенных уровней воды в весенний период, когда в озеро поступает талая вода с его водосбора, радионуклиды могут накапливаться в зоне литорали, у уреза воды. Кроме того, барьером на пути миграции цезия-137 могут быть растительные сообщества с высоким проективным покрытием. На ключевом участке «Горькое» в пределах вейникового сообщества со 100% площадью проективного покрытия был заложен разрез 21. В нем плотность загрязнения цезием-137 оказалась в 2–6 раз больше, чем на соседних, слабо задернованных территориях, находящихся на несколько десятков сантиметров ниже. Подобные особенности латерального распределения цезия-137 в супераквальных ландшафтах были установлены В.Г. Линником на примере поймы малой реки Брянской области, загрязненной радионуклидами после чернобыльских выпадений [Линник, 2008].

В латеральном распределении цезия-137 на ключевом участке «Ембакуль» также выявлено два пика (рис. 2, б). Первый (разрез 11) связан с аккумуляцией цезия-137 в верхней части склонов, второй (разрезы 8 и 9) – приурочен к зоне литорали. Причем в отличие от ключевого участка «Горькое», ^{137}Cs накапливается не только в солончаках под солянковым сообществом с высокой степенью (70%) проективного покрытия, но и в практически лишенных растительности почвах (площадь проективного покрытия 5%). Однако в отличие от ключевого участка «Горькое», где барьерная зона на пути миграции цезия-137 выделена по вейниковым сообществам с высокой степенью проективного покрытия, на ключевом участке «Ембакуль» она оконтурена по наличию неразложившихся остатков камыша и других слабо разложившихся органических остатков, наличие которых косвенно указывает на высоту поднятия уровня воды в весенний период.

В катене ключевого участка «Падина» плотность загрязнения цезием-137 возрастает в ряду почв: междуречье > склон > днище замкнутого понижения (см. рис. 2, в), что является типичным для распахиваемых территорий.

На ключевом участке «Круглое» также, как и на участках «Горькое» и «Ембакуль», цезий-137 аккумулируется на озерной террасе и в зоне литорали (см. рис. 2, г).

Выводы

1. Плотность загрязнения и удельная активность цезия-137 в большинстве изученных фоновых почв степных ландшафтов Западной Сибири экспоненциально снижаются с глубиной. В освоенных почвах он распространяется на всю мощность пахотного горизонта. Нарушение экспоненциального распределения плотности загрязнения ^{137}Cs чаще наблюдается в почвах супераквальных ландшафтов: дерново-глебовых и солончаках. В первом типе почв это связано с поступлением материала из вышележащих склонов. В солончаках пониженная плотность загрязнения цезием-137 наблюдается в грубогумусовых горизонтах с небольшой плотностью.

2. Для всех изученных катен свойственны повышенные уровни плотности загрязнения цезием-137 в почвах верхней части озерных террас и зоны литорали под растительными сообществами с высокой степенью проективного покрытия и пониженные – в донных осадках. В замкнутом понижении, не заполненном водой, наблюдается постепенное возрастание плотности загрязнения ^{137}Cs при движении от водораздела к центру западины.

Заключение

Полученные результаты позволяют перейти напрямую к разработке метода оценки плотности глобальных выпадений, основанному на данных о распределении радиоцезия в замкнутых водосборных геохимических аренах.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 13-05-41431.

Список литературы

1. Линник В.Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов: геоинформационные системы и модели: дис.... докт. геогр. наук. – М. 2008. – 26 с.
2. Маликова И.Н., Страховенко В.Д., Сухоруков Ф.В., Девятова А.Ю. Экологическое состояние почв Алтайского края: загрязнение радиоцезием // Сибирский экологический журнал. 2005. – Т. 12. – № 6. – С. 985–998.
3. Пузанов А.В., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н. Радиоактивные элементы в почвах бассейна р. Нижняя Тунгуска // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – № 5. – С. 26–29.
4. Семенов И.Н., Усачева А.А. Цезий-137 как маркер современных почвенных турбаций // Фундаментальные исследования. 2013. – Т. 10, № 7. – С. 1475–1481.
5. Семенов И.Н., Асеева Е.Н., Терская Е.В. Геохимическая структура лесостепных катен балочного водосбора в бассейне р. Упа // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2013. – № 6. – С. 68–75.
6. Семенов И.Н., Мирошников А.Ю. Количественная оценка выноса радиоцезия глобальных выпадений из ландшафтов водосборного бассейна Оби // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. – № 3. – С. 222–230.
7. Сухоруков Ф.В., Маликова И.Н., Гавшин В.М., Ковалев С.И., Щербов Б.Л., Мельгунов М.С., Страховенко В.Д.,

Цибульчик В.М. Техногенные радионуклиды в окружающей среде Западной Сибири (источники и уровни загрязнения) // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 1. – С. 31–38.

8. Balykin D.N., Puzanov A.V., Balykin S.N. Ecologo-geochemical assessment of the Vasyugan river valley (Tomsk oblast) – Geography and Natural Resources. – 2013. – Vol. 34 (2) – P. 166–171.

9. Egorova I.A., Kislitsina Y.V., Puzanov A.V. Radionuclides in soils of northwestern Altai – Geography and Natural Resources. – 2012. Vol. 33 (3). – P. 208–211.

10. Miroshnikov A.Yu., Semenov I.N. Migration of global radioactive fallout to the Arctic ocean (on the example of the Ob' river drainage basin) – Radiation protection dosimetry. – 2012. – V. 152 (1–3). – P. 89–93.

References

1. Linnik V.G. Landscape pattern of artificial radionuclides: geographic information systems and models: doctoral tesis. M. 2008. 26 p.

2. Malikova I.N., Strakhovenko V.D., Sukhorukov F.V., Devyatova A.Yu. Ecological status of soils in Altai Krai – Sibirskii ekologichesky zhurnal. – 2005. no. 12 (6). pp. 985–998.

3. Puzanov A.V., Balykin S.N., Balykin D.N. Radioactive elements in soils of the Nizhnyaya Tunguska river basin. – Mir nauki, kultury, obrazovaniya. 2008. no. 5. pp. 26–29.

4. Semenov I.N., Usacheva A.A. Caesium-137 as a tracer of current soil turbation. – Fundamentalnye issledovaniya. 2013. 10 (7). pp. 1475–1481.

5. Semenov I.N., Aseeva E.N., Terskaya E.V. Geochemical structure of forest-steppe catenas of balka drainage area in the Upa River basin. – Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. 2013. no. 6. pp. 68–75.

6. Semenov I.N., Miroshnikov A.Yu. Quantitative evaluation of global fallout radiocesium runoff from landscapes of the Ob' river basin. – 2014. – Geoekologiya. no. 3. pp. 222–230.

7. Sukhorukov F.V., Malikova I.N., Gavshin V.M., Kovalev S.I., Scherbov B.L., Melgunov M.S., Strakhovenko V.D., Tsybulchik V.M. Technogenous radionuclides in the environment of West Siberia (radiation sources and pollution levels). – Contemporary problems of ecology. 2000. no 1. pp. 31–38.

8. Balykin D.N., Puzanov A.V., Balykin S.N. Ecologo-geochemical assessment of the Vasyugan river valley (Tomsk oblast) – Geography and Natural Resources. 2013. Vol. 34 (2). pp. 166–171.

9. Egorova I.A., Kislitsina Y.V., Puzanov A.V. Radionuclides in soils of northwestern Altai – Geography and Natural Resources. 2012. Vol. 33 (3). pp. 208–211.

10. Miroshnikov A.Yu., Semenov I.N. Migration of global radioactive fallout to the Arctic ocean (on the example of the Ob' river drainage basin) – Radiation protection dosimetry. – 2012. – V. 152 (1–3). – pp. 89–93.

Рецензенты:

Кочкин Б.Т., д.г.-м.н., в.н.с., ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук», г. Москва;

Пэк А.А., д.ф.-м.н., в.н.с., ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 16.12.2014.