

УДК 631.42:574.21

ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО УЧАСТКА В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Д.Г. Кротов, В.П. Самсонова, И.И. Сычёва, С.Е. Дядькина

Рассмотрено распределение радионуклидов по катене от прируслового вала р. Десны до водораздела. Показано, что изменение концентраций радионуклидов в отдельных точках опробования за два года не превышает ошибки опыта. Плотность загрязнения ^{137}Cs изучаемой территории сходна с показаниями на прогнозных картах Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Отмечена активная роющая деятельность кротов, влияющая на перераспределение радионуклидов.

Ключевые слова: радионуклиды, плотность потока, серые лесные почвы, кроты.

Введение

Вследствие Чернобыльской аварии 26 апреля 1986 г. произошло загрязнение радионуклидами обширных территорий Украины, Белоруссии и России. Большую часть выброса АЭС составляли радионуклиды с коротким периодом физического полураспада. После первоначального периода большое радиологическое значение получили радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr [1].

Содержание радионуклидов на конкретном участке почвенного покрова зависит от сочетания многих факторов: начальной дозы, естественного распада, перераспределения вследствие ветровой и водной эрозии, перемещения в более глубокие слои почвы, сорбции и десорбции и т.п. [3, 7, 14]. Большое влияние на зоогенную миграцию искусственных радионуклидов оказывают почвенные животные, в основном за счет их высокой биомассы и роющей деятельности [11, 13]. В результате распределение радионуклидов в пространстве приобретает сложный пятнистый характер, мелкоконтурные превышения загрязнения усредняются, сглаживаются, хотя в действительности они могут быть заметными.

Объекты и методы исследования

Работу проводили в 2012—2014 гг. на территории Выгоничского р-на Брянской обл. Она подверглась незначительному по сравнению с западной частью области загрязнению [2].

Для получения данных о плотности загрязнения почв радионуклидами ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K и плотности потока радона была заложена катена от прируслового вала р. Десны до водораздела длиной около 5000 м, перепад высот составил почти 50 м. В пределах катены заложили 12 разрезов, последний из которых

(№ 12) находился в лесополосе, на территории с признаками интенсивной деятельности кротов. Из этого разреза были отобраны две параллельные колонки проб, отстоящие друг от друга на 20 см: первая пересекала ход крота, вторая проходила через ненарушенную почву.

Место почвенных разрезов выбирали в центре разных элементов ландшафта, наиболее характерных для исследуемых территорий, описывали генетические горизонты и определяли тип почвы (рис. 1). Обследовали обширную пойму с прирусловыми валами и межгрядными понижениями, I, II и III надпойменные террасы, яблоневый сад, сельскохозяйственные поля и березовую лесополосу.

Пробы, содержащие фрагмент почвенного горизонта размером $15 \times 15 \times 15$ см, отбирали из разрезов, как правило, с глубины 0—20 см (слой, в котором обычно содержится более 70% полного запаса радионуклидов) [14]. На водоразделе брали образцы из каждого почвенного горизонта, чтобы проследить вертикальную миграцию радионуклидов.

Содержание радионуклидов ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K определяли методом гамма-спектрометрии с помощью универсального радиометрического комплекса «Гамма Плюс» с блоком детектирования СБДГ-01 (детектор NaI (TI) размером 63×63 мм) с использованием программы обработки спектров «Прогресс 2000».

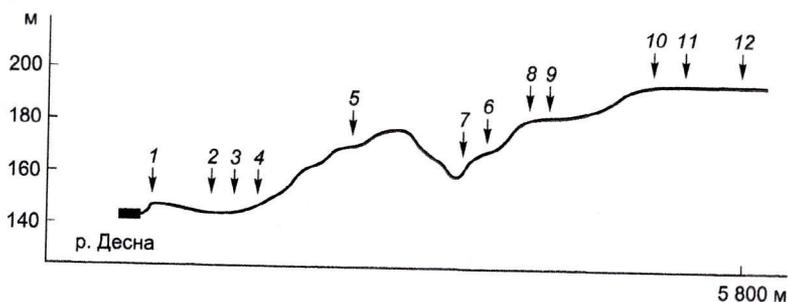


Рис. 1. Расположение разрезов (точки отбора проб — цифры курсивом) вдоль катены

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-04-00480а).

Стандартная геометрия измерения в гамма-тракте — сосуд Маринелли объемом 1 дм³.

Для измерения мощности дозы гамма-излучения на местности использовали дозиметр-радиометр ДРГБ-01 «ЭКО-1М». Определение проводили у поверхности почвы и на высоте 1 м. Отбор проб сопровождался ландшафтным описанием точек и растительности.

Рядом с каждым разрезом были поставлены камеры для измерения плотности потока радона (ППР). Измерения ППР проводили в соответствии с приложением — «Методика измерения потоков радона с эманулирующих поверхностей» НТЦ «НИТОН» (г. Москва) в накопительных камерах НК-32, содержащих активированный уголь марки СКТ-3. Площадь сбора радона (площадь накопительной камеры) — 32 см², высота рабочего слоя активированного угля — 0,4 см, его объем — 12,8 см³, время экспонирования накопительных камер с углем — 2—4 ч. После экспонирования измеряли активность радона в угле на измерительном комплексе «КАМЕРА-01». Этот процесс выполняется по гамма-, бета-излучению короткожи-

вущих дочерних продуктов распада радона — ²¹⁴Pb и ²¹⁴Bi, находящихся с ним в состоянии радиоактивного равновесия.

Плотность потока радона рассчитывали с помощью прикладного программного обеспечения. Комплекс измеряет активность сорбированного в активированном угле радона в диапазоне от 3 до $1 \cdot 10^5$ мБк/(м² · с).

В почвенных пробах помимо содержания радионуклидов определяли количество органического вещества и концентрацию фосфора и калия по методикам ГОСТ 26213-91, ГОСТ 26207-91 и «Методическим указаниям по ионометрическому определению калия в солянокислой вытяжке из почв» соответственно [4, 5].

Результаты и их обсуждение

Почвы катены. В пределах катены обнаружены разные типы почв, приуроченные к отдельным элементам рельефа (таблица). Выход карбонатных пород обуславливает нейтральный и слабокислый pH верхнего слоя. Гранулометрический состав — легкосугли-

Агрохимические свойства почв катены (слой 0—20)

Номер точки (разрез)	Положение	Название почвы	Гумус, %	pH _{вод}	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1	приусловой вал	аллювиальная дерновая насыщенная среднемошная легкосуглинистая оглеенная опесчаненная	1,73	7,15	250	23
2	центральная пойма	аллювиальный нанос	4,83	7,15	289	129
3		аллювиальная дерновая насыщенная среднемошная среднесуглинистая оглеенная опесчаненная	3,52	6,14	265	52
4	притеррасная пойма	аллювиальная дерновая насыщенная среднемошная среднесуглинистая оглеенная опесчаненная	5,22	6,98	395	174
5	I терраса	дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на покровном суглинке	1,06	6,94	77	40
6	выход карбонатных пород, склон II террасы, луг	дерново-луговая карбонатная	3,65	6,38	27	39
7	овраг, луг	дерново-луговая намытая	4,51	7,00	102	263
8	III терраса, сад	серая лесная легкосуглинистая со вторым гумусовым горизонтом на лёссовидном суглинке	2,88	7,19	120	234
9		серая лесная легкосуглинистая на лёссовидном суглинке	2,56	6,18	136	141

Окончание таблицы

Номер точки (разрез)	Положение	Название почвы	Гумус, %	pH _{вод}	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
10	водораздел, залежь	серая лесная легкосуглинистая на лёссовидном суглинке	2,25	5,55	476	138
11						
12	водораздел, лесополоса	серая лесная легкосуглинистая со вторым гумусовым горизонтом на лёссовидном суглинке	—	—	—	—

нистый, в пойме отмечается опесчаненность, дерново-луговая карбонатная почва развита на известковом рыхляке, ближе к водораздельному пространству в качестве почвообразующей породы преобладают лёссовидные суглинки. В пойме, за исключением прируслового вала, содержание гумуса высокое, в пахотных почвах — среднее. По мере продвижения к водораздельному пространству растет количество подвижных фосфора и калия; наименее обеспечены этими питательными элементами участки дерново-карбонатной и дерново-слабоподзолистой почв.

Фоновое облучение. Результаты замеров гамма-фона показали, что среднее значение мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м — 0,12, минимальное — 0,09, максимальное — 0,13 мкЗв/ч. Среднее значение гамма-фона на поверхности почвы — 0,13, минимальное — 0,09, максимальное — 0,15 мкЗв/ч. Таким образом, поверхностных радиационных аномалий на обследуемой территории не обнаружено.

Распределение радионуклидов в почвенном профиле оказалось весьма однородным по содержанию таких радионуклидов, как ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra. Все колебания укладываются в пределы ошибок определения УСК «Гамма Плюс» [8] (рис. 2). Основная масса ¹³⁷Cs сосредоточена в пахотном горизонте (95 и 92% от общего количества в разр. 10 и 11 соответственно).

Роиющая деятельность животных, в частности кротов, — одна из основных движущих сил, приводящих к миграции радионуклидов в почве. При всех формах воздействия ионизирующих излучений на биогеоценоз почвы наблюдается обеднение почвенной фауны. Радиочувствительность мокриц, паукообразных, дождевых червей значительно выше, чем у растений. На загрязненных территориях общая плотность почвенной мезофауны снижается в 8–60 раз [9]. Наибольшее угнетение испытывают дождевые черви, являющиеся основной пищей кротов. На участках с повышенным фоном радиации не только

ниже численность червей, но и наблюдается задержка в развитии этих животных [11]. Вслед за уменьшением их числа сокращается и численность кротов. Наоборот, при отсутствии загрязнений наблюдается высокая активность последних, о чем свидетельствуют выбросы на поверхности почвы — холмики диаметром до 40 см. Таким образом, снизу вверх перемещается материал более глубоких незагрязненных горизонтов, а загрязненная почва оказывается внизу. В лесах эти видимые выбросы могут занимать значительную территорию [6]. В наших исследованиях поверхность почвы, занятая выбросами кротов, составила 6%, что говорит о высокой активности животных.

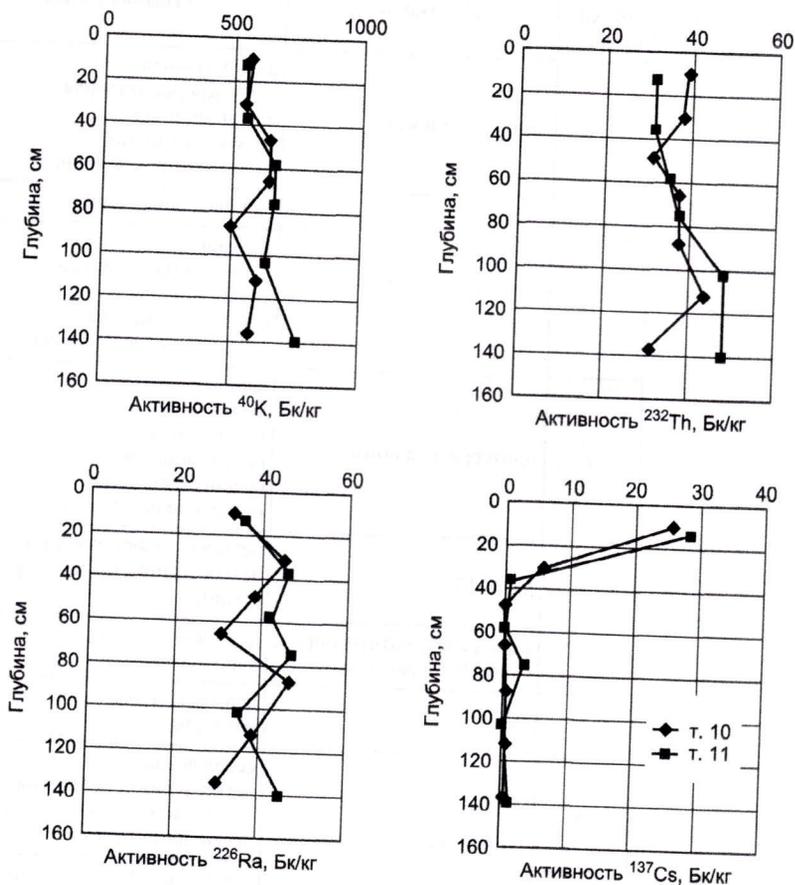


Рис. 2. Профильное распределение нуклидов в серой лесной почве (т. 10) и серой лесной со вторым гумусовым горизонтом (т. 11)

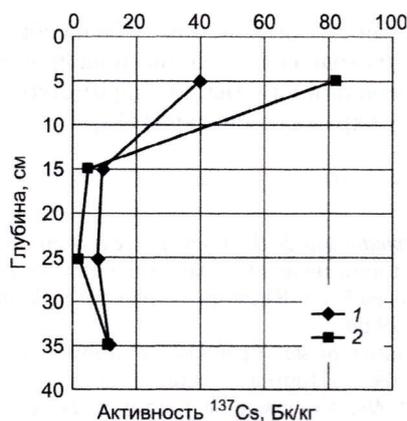


Рис. 3. Профильное распределение ¹³⁷Cs в серой лесной почве (лесополоса, т. 12): 1 — кратовина, 2 — неперекопанная почва

¹³⁷Cs — долгоживущий радионуклид (период полураспада 29 лет), наибольшее его количество отмечается в верхнем 10-сантиметровом слое в лесополосе, причем здесь сосредоточено 95,2% общего запаса. Однако следует отметить, что, с одной стороны, в более глубоких слоях концентрация ¹³⁷Cs выше, чем в залежи, а с другой — диапазон изменчивости значений радионуклида в двух профилях, разделенных расстоянием 20 см, превышает изменчивость в залежи. Деятельность роющих животных (кроты) может приводить и к резким колебаниям значений на близких расстояниях, и к значительному заглублению радионуклидов, превышающему вертикальную миграцию, обусловленную водными потоками.

На глубине 20—30 см гор. В графика 2 соответствует гор. А1 из кратовины (рис. 3). Благодаря деятельности крота верхний горизонт опустился вниз, и содержание ¹³⁷Cs на глубине 25 см оказалось почти в два раза выше, чем в ненарушенной почве рядом. И наоборот, на поверхности почвы содержание ¹³⁷Cs в два раза ниже, чем рядом с кратовиной, что можно объяснить роющей деятельностью крота.

Изменчивость содержания радионуклидов по катене. Содержание ⁴⁰K и ²³²Th мало меняется в пре-

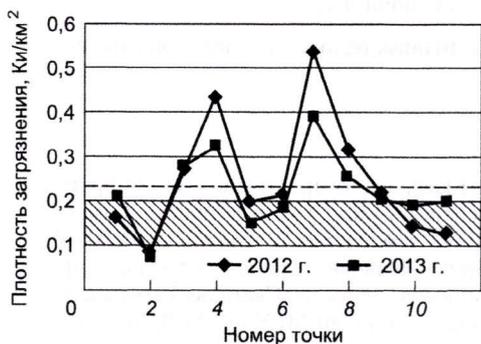


Рис. 4. Изменение плотности загрязнения ¹³⁷Cs вдоль катены (слой 0—20 см; пунктирная линия — среднее экспериментальное; заштриховано — прогноз на 2016 г.)

делах катены (400—500 Бк/кг), за исключением минимума в районе выхода меловых пород (52 и 4 Бк/кг соответственно). Для ²³²Th отмечается слабая тенденция к увеличению от поймы к водоразделу (от 14 до 35 Бк/кг). Содержание ²²⁶Ra минимально на прирусловом валу (15 Бк/кг) и постепенно увеличивается к водоразделу, достигая максимума (37 Бк/кг) на залежных серых лесных почвах. Несмотря на отдельные расхождения, тенденции поверхностной изменчивости содержания радионуклидов вдоль катены в 2012 и 2013 г. совпадают, что говорит о не случайном, а закономерном их распределении в ее пространстве.

Значения величины *плотности потока радона* широко варьируют по геоморфологическому профилю реки от 0 мБк/(м² · с) на выходе меловых пород (т. б) до 75 (2012 г.) и 42 (2013 г.) мБк/(м² · с) в центральной части поймы. Разброс значений ППР можно объяснять разными подстилающими породами и минералами, входящими в состав данных почв. Плотность потока радона максимальна в местах смены геоморфологических элементов (граница поймы, водораздел) и не превышает допустимые нормативы — 80 мБк/(м² · с) [12].

Сопоставление с картами радиоактивного загрязнения Брянской обл. По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [2], изучаемая территория в 1986 г. попала в зону 0,2—0,5 Ки/км², а к 2016 г. должна будет находиться в зоне 0,1—0,2 Ки/км².

Как оказалось, обследованная территория имеет загрязнение радиоцезием, сопоставимое с прогнозной картой (в отдельных точках ниже), однако «выскоки» в сторону больших значений также присутствуют (рис. 4). Это еще раз демонстрирует пестроту загрязнения даже при низком и среднем уровнях содержания радионуклида.

Выводы

- Таким образом, поверхностные радиационные аномалии на обследуемой территории не обнаружены. Плотность загрязнения почв ¹³⁷Cs установленные нормативы (1 Ки/км²) не превышает [10]. Запас ¹³⁷Cs сосредоточен в пределах пахотного (дернового) горизонта. Глубже 30 см его содержание незначительно. ⁴⁰K, ²²⁶Ra и ²³²Th распределяются по профилю недифференцированно. Для ¹³⁷Cs характерно регрессивно-аккумулятивное распределение по профилю.

- Изменение концентраций радионуклидов в отдельных точках опробования за два года не превышает ошибки опыта.

- Наблюдается отчетливая тенденция увеличения концентраций ²³²Th и ²²⁶Ra от прируслового вала к водоразделу, нарушаемая локальными повышениями концентраций в пониженных элементах рельефа и минимумами в местах выхода меловых пород.

• Плотность потока радона максимальна в местах смены геоморфологических элементов (граница поймы, выход меловых отложений, водораздел) и не превышает допустимые нормативы — 80 мБк/(м² · с) [12].

• Плотность загрязнения ¹³⁷Cs на обследованной территории сходна с показаниями на прогнозных картах Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаган Л.А., Ильин Л.А., Израэль Ю.А. и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. Атомная энергия. 1986. Т. 61, вып. 5.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия — Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. М.; Минск, 2009.
3. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф. Продуктивность пашни и реабилитация песчаных почв. Брянск, 2006.
4. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества.
5. ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.
6. Дмитриев П.П., Худяков О.И., Лим В.Д. Неоднородность почв и почвенный покров в поселениях грызунов // Почвоведение. 1991. № 8.
7. Кокорева В.В. Некоторые особенности поведения радиоцезия в экосистемах Калужской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калуга, 2007.
8. Комплекс универсальный спектрометрический УСК «Гамма Плюс»: Описание типа средства измерения. М., 2006.

9. Нуртдинова Д.В. Влияние техногенного загрязнения территории на распространение обыкновенного крота (*Talpa europea* L.). URL: <http://e-lib.gasu.ru/konf/biodiversity/2008/2/29.pdf>
10. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009». Утверждены постановлением Роспотребнадзора № 47 от 7 июля 2009 г.
11. Симонович Е.И. Методология биоиндикации радиоактивных загрязнений с применением почвенной фауны // Биол. науки. 2013. № 7.
12. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства.
13. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация: Учеб. пособие. Тверь, 2005.
14. Харкевич Л.П. Эффективность способов обработки почвы и агрохимических приемов при производстве кормов на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях юго-запада России: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Брянск, 2011
15. URL: <http://chornobyl.in.ua/radionuclide-migration.html>

Поступила в редакцию
25.10.2014

ASSESSMENT OF RADIOACTIVE POLLUTION OF THE MODEL SITE IN THE BRYANSK REGION

D.G. Krotov, V.P. Samsonova, I.I. Sicheva, S.E. Dyadkina

The distribution of radionuclides (¹³⁷Cs, ²³²Th, ²²⁶Ra and ⁴⁰K) along soil catena from river side of Desna river up the watershed in Bryansk region was studied. It was shown that the bulk of ¹³⁷Cs is concentrated within 10–30 cm. Deeper distribution almost constantly. Other radionuclides have undifferentiated distribution on soil profile regardless of the Catena soil. There is an active burrowing activities of moles, contributes to the redistribution of radionuclides.

¹³⁷Cs contamination density on the surveyed area is testimony to the forecast maps developed by the Federal service for Hydrometeorology and Environmental monitoring.

Key words: radionuclides (¹³⁷Cs, ²³²Th, ²²⁶Ra and ⁴⁰K), Bryansk region, gray forest soils, moles.

Сведения об авторах

Кротов Дмитрий Геннадиевич, канд. с.-х. наук, доцент каф. экологии и почвоведения Брянского государственного сельскохозяйственного университета. *E-mail:* krotovd@mail.ru. **Самсонова Вера Петровна**, докт. биол. наук, доцент каф. общего земледелия и агроэкологии МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail:* vkbun@mail.ru. **Сычёва Ирина Ивановна**, студентка 5 курса каф. общего земледелия и агроэкологии МГУ им. М.В. Ломоносова. **Дядкина Светлана Евгеньевна**, канд. биол. наук, науч. сотр. каф. общего земледелия и агроэкологии МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail:* S.E.Dyadkina@mail.ru.