

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Аветисян С.Р., ^{1,2}Бураева Е.А., ³Гончаренко А.А., ¹Давыденко А.М., ^{1,2}Дергачева Е.В.,
^{1,2}Нефедов В.С., ²Стасов В.В., ¹Триболина А.Н.

¹Физический факультет Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: nv060790@yandex.ru;

²Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: buraeva_elen@mail.ru;

³Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: soup7@mail.ru

В работе представлены данные по радионуклидному составу наземных экосистем (почв и растительности) степных территорий Ростовской области. Оценка радиоактивности объектов флоры была выполнена в 2003-2010 годах на ряде контрольных участков тридцатикилометровой зоны наблюдения Ростовской АЭС. Все контрольные площадки относятся к водораздельным участкам Центрального (южного) ландшафтно-геохимического района и расположены на целинных землях. Оценены коэффициенты накопления радионуклидов различной растительностью региона исследования. Показано, что накопление радионуклидов растительностью может зависеть от ряда факторов, таких как форма нахождения радионуклида в почве, агро-химические и физико-химические свойства почвы, метеорологические факторы и гидротермические условия, тектоническое состояние, мощность растительного покрова, наличие фауны.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, искусственные радионуклиды, растительность, почва, накопление, перенос, миграция

NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN THE PLANTS OF THE ROSTOV REGION

¹Avetisyan S.R., ^{1,2}Buraeva E.A., ³Goncharenko A.A., ¹Davydenko A.M., ^{1,2}Dergacheva E.V.,
^{1,2}Nefedov V.S., ²Stasov V.V., ¹Tribolina A.N.

¹Faculty of Physics, Southern federal university, e-mail: nv060790@yandex.ru;

²Research Institute of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: buraeva_elen@mail.ru;

³Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: soup7@mail.ru

The paper presents data on radionuclide composition of terrestrial ecosystems (soil and vegetation) steppe areas of the Rostov region. Evaluation of radioactivity in flora was carried out in 2003-2010 years in the number of monitoring sites thirty-kilometer surveillance zone Rostov NPP, during its normal operation. All test sites related to watershed areas of the Central (South) landscape-geochemical area and are located on the virgin lands. It was determined the content of natural radionuclides in soil and vegetation in these areas. Estimated coefficients of radionuclide accumulation of various vegetation studies in the region. It is shown that the accumulation of radionuclides vegetation may depend on several factors, such as the shape of the radionuclides in the soil, agro-chemical and physico-chemical properties of the soil and meteorological factors gedrotermicheskie coefficients tectonic state power vegetation, the presence of fauna. Getting in different ways on the Earth's surface, radionuclides included in the biogeochemical processes of migration are redistributed in the soil cover.

Keywords: natural radionuclides, artificial radionuclides, plant, soil, accumulation, transfer, migration.

Изучение биогеохимических особенностей поведения естественных и искусственных радионуклидов (ЕРН и ИРН) становится всё более актуальным вследствие возрастания потоков миграции ЕРН в биосфере [6, 7, 8], в частности в звене почва – растения (например, в результате увеличивающегося применения удобрений с повышенными концентрациями ЕРН [6, 7]). В растительных тканях нет тенденции к образованию малоподвижных химических соединений ²²⁴Ra; сведения о прочности связи радиоизотопа в опаде отсутствуют, однако

показано в [8], что в отмерших, но оставшихся на корню растениях радий сохраняется до следующей весны.

Пути поступления естественных радионуклидов в наземную массу растений разнообразны. Если для изотопов U, Th, Ra в условиях загрязнений доминирующим является корневой путь усвоения, для ^{220}Rn – аэральный, то для ^{222}Rn и ^{210}Po возможны оба названных способа [9]. Отсутствие радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и ^{222}Rn свидетельствует о поступлении газообразного ^{222}Rn в наземную массу растений не только из приземной атмосферы, но и по корневой системе [9]. Из множества естественных радионуклидов максимальным содержанием в растениях характеризуются ^{226}Ra и ^{224}Ra , что обусловлено их повышенными концентрациями в почвах и значительной миграционной способностью, а наименьшим – ^{232}Th .

Большой интерес для степных территорий Ростовской области, в особенности – района расположения Ростовской АЭС (РоАЭС) представляют определения содержания естественных и искусственных (ИРН) радионуклидов в растительных объектах.

Объекты и методы их исследования

Оценка радиоактивности объектов флоры была выполнена в 2003-2010 годах в районах Ростовской области, в том числе, на ряде контрольных участков (КУ) тридцатикилометровой зоны наблюдения Ростовской АЭС. Все КУ относятся к водораздельным участкам Центрального (южного) ландшафтно-геохимического района и расположены на целинных землях: КУ 12, КУ 103а, КУ 118а, КУ 133а.

Почвенные образцы отбирались из разрезов глубиной до 120 см послойно, слоями 0-1, 1-3, 3-5, 5-10, 10-15, 15-25, 25-35 см и далее слоями по 10 см до дна. Перед измерением гамма-спектров, растительные образцы высушивались в сушильных шкафах при температуре 60-70°C, затем измельчались, а образы почвы высушивали при температуре 100-105°C, измельчались до размера частиц не более 1 мм. Все пробы герметично упаковывались в счетные геометрии. Для определения удельной активности ^{226}Ra по продуктам распада ^{222}Rn (^{214}Pb и ^{214}Bi) упакованные образцы выдерживались в течение не менее 14 дней.

Содержание естественных (^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K , ^7Be) радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в образцах растительности и почвы определяли гамма-спектрометрическим методом радионуклидного анализа. Использовали спектрометр гамма-излучения с GeHP-детектором с эффективностью 25% в диапазоне 30-1500кэВ, отношением пик/комpton 51,7:1 (модель 7229N-7500sl-2520, фирмы Canberra) и набор счетных геометрий Дента 0,02 л (диск высотой $h=7\text{мм}$, диаметром 50мм, $V=0,02\text{л}$)).

Результаты и их обсуждение

Для оценки пределов вариации содержаний основных радионуклидов в наземных экосистемах были проанализированы несколько сотен проб почвы, отобранных в Ростовской области. Данные по радионуклидному составу почв приведены в табл.1:

Таблица 1

Радионуклидный состав проб почвы

Радио- нуклид	Наши данные		Литературные данные		
	Пределы вариации, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Пределы вариации, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Ссылки
²³⁸ U	0.5-713.4	53.6	6-25000	26,0	3
²³⁴ Th	0.6-868.1	131.3	210.5-365.3	287.9	1
²²⁶ Ra	0.5-115.8	32.9	4-35150	26,0	3
²¹⁰ Pb	3.4-3383.4	240.0	2.1-485.1	228.6	1,3
²³² Th	0.9-82.4	38.7	2-1750	26,0	3
²²⁴ Ra	0.8-69.0	41.8	15.7-320	26,0	3
⁴⁰ K	2.9-6162.6	563.0	19.2-836.8	447.9	3,10
¹³⁷ Cs	0.5-91.4	16.9	0.46-175	62.5	1,5
²⁴¹ Am	–	–	0.15-4.6	2.4	1
⁷ Be	11.9-67.4	13.5	3.6-72	37.8	1

В Ростовской области наиболее распространены каштановые почвы, а также черноземы южные и обыкновенные, отличающиеся повышенным (по сравнению со среднемировыми значениями) содержанием естественных радионуклидов.

При непосредственном загрязнении растений и почв радионуклидами особый интерес представляют: место входа радионуклидов в ткани и факторы, влияющие на скорость поглощения. Известны четыре способа непосредственного поглощения 1) листовое, 2) флоральное (через соцветия), 3) из дернины (через базальные части растений или поверхностные части растений, которые не соприкасались с почвой), 4) через корневую систему. Во время дождей одновременно с поглощением происходит смывание радиоактивных продуктов с верхних частей растений и перемещение их в нижние. Листовое и флоральное загрязнение может быть обусловлено только теми радионуклидами, которые попадали на растения во время роста данного листа или соцветия. Данные по радионуклидному составу растительных проб приведены в табл. 2:

Таблица 2

Радионуклидный состав растительных проб

Радио- нуклид	Наши данные		Литературные данные		
	Пределы вариации, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Пределы вариации, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Ссылки
²³⁸ U	1-90.1	49.8	0.04-81.1	40.57	1,12
²³⁴ Th	2-6281	246.9	-	-	-
²²⁶ Ra	0.6-215	56.4	0.025-99.5	29.46	1,3,11,13
²¹⁰ Pb	3.6-3941	459.8	0.025-1258.9	325.18	3,13
²³² Th	1.2-358	39.3	0.08-260	75.21	3
²²⁴ Ra	1.2-273	42.7	1.65-26	13.83	12
⁴⁰ K	5.5-6262	1239	885-6162.6	3666.11	1
¹³⁷ Cs	<п.о.	6.2	0.01-550	184.03	4
²⁴¹ Am	6-55	27.0	0.6-1.5	1.05	1
⁷ Be	19.9-597.7	198.6	85-306	193.89	1

Наиболее характерные растения для Ростовской области – это полынь австрийская, тысячелистник, люцерна серповидная, василёк раскидистый, шалфей остепнённый, осока, тополь чёрный, амброзия, верблюдка, осина. В целом, радионуклидный состав растительности определяет: форма нахождения радионуклида в почве, агро-химические и физико-химические свойства почвы, метеофакторы и гидротермические коэффициенты, тектоническое состояние, мощность растительного покрова, наличие фауны.

Данные по содержаниям ЕРН, в том числе космогенного ⁷Be в почвах 0-1 см и растительности приведены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание ЕРН в почвах и растительности на различных КУ (всм – высушенная масса растительности)

№ КУ	Тип пробы	А, Бк/кг (почва); А, Бк/кг всм (растительность)					
		²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³² Th	⁴⁰ K	⁷ Be
12	почва 0-1см	36,1	46,1	218,0	44,0	427,0	-
	растит-ть	-	20,6	114,0	5,3	885,0	-
103а	почва 0-1см	31,5	85,1	485,1	59,1	750,8	72,0
	растит-ть	16,0	42,9	586,5	17,3	3444,5	181,0
	опад	15,0	31,9	2868,5	14,1	460,8	733,0
118а	почва 0-1см	29,4	53,8	398,6	42,3	437,5	3,6
	растит-ть	21,1	68,8	1258,9	82,4	6162,6	85,0
	опад	10,5	95,1	3383,4	58,3	946,6	640,0

№ КУ	Тип пробы	А, Бк/кг (почва); А, Бк/кг всм (растительность)					
		²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³² Th	⁴⁰ K	⁷ Be
133а	почва 0-1см	25,4	96,5	432,8	52,1	752,4	7,6
	растит-ть	81,1	45,0	790,2	25,1	5310,8	306,0

Содержание ⁴⁰K в растительности почти в 10 раз больше, чем в почве и в 6-7 раз больше, чем в опаде (кроме КУ 12, для которого содержание ⁴⁰K в растительности всего в 2 раза больше, чем в почве).

Почти во всех элементах наземной экосистемы содержание ⁷Be довольно высоко и обусловлено особо интенсивными атмосферными выпадениями в весенне-летний период (сезонный максимум данного радионуклида). Этот радионуклид достаточно быстро мигрирует вглубь почвы и интенсивно переходит в растительный материал и особенно в опад. В наземной части растений за счет поглощения листовой поверхностью прямо из осадков и, возможно, поглощением корневой системой из почвы содержание ⁷Be может составлять до 100-300 Бк/кг всм, а в опаде, за счет поглощения из осадков, еще больше – до 600-750 Бк/кг всм.

Коэффициенты накопления ⁷Be растительностью из 1см слоя почвы $K_n=25-40$ (если этот механизм преобладает). Коэффициенты накопления ²¹⁰Pb растительностью из 1 см слоя почвы $K_n=0,5-3,0$ (наибольший для КУ 118а), из опада $K_n=5,0-9,6$ (наибольший для КУ 133а).

Заметны различия в величине K_n для различных радионуклидов: наибольшие для ⁷Be, ²¹⁰Pb и ⁴⁰K. Имеются и различия K_n для КУ с различным типом почв: наибольшие K_n имеют место для КУ 118а (для ²²⁶Ra, ²³²Th, ²¹⁰Pb для растительности и ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K и ⁷Be для опада), для КУ 133а (для ²³⁸U и ⁴⁰K для растительности и для ²¹⁰Pb для опада) и для КУ 103а для ⁷Be для растительности и опада.

Эти величины следует считать только оценочными, так как, строго говоря, надо определять K_n исходя из удельной активности почвы на глубине, соответствующей развитой корневой системе.

Выводы

В работе определен радионуклидный состав почвы и растительности и оценены особенности накопления радионуклидов растительностью. Попадая различными путями на земную поверхность, радионуклиды включаются в биогеохимические процессы миграции, перераспределяются в почвенном покрове, системах почва – грунтовые и поверхностные воды, почва – растения и далее в пищевых и биологических цепях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-01413\13 и в рамках проектной части внутреннего гранта Южного федерального университета (Тема № 213.01.-07.2014/13ПЧВГ).

Список литературы

1. Анисимов В.С., Анисимова Л.Н., Ломоносова Н.В., Алексахин Р.М., Фригидова Л.М., Круглов С.В., Байкова Т.А. Влияние кислотности дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы на подвижность и биологическую доступность радионуклидов ^{60}Co , ^{137}Cs , микроэлементов Co, Si, Zn, Mn, Fe. // *Агрохимия*. – 2005. - № 7. – С. 51-58.
2. Архипов Н.П., Февралёва Л.Т. Влияние сроков аэрального загрязнения сельскохозяйственных растений на содержание ^{89}Sr в урожае. // *Экология*. – 1979. - №2. – С. 53-54.
3. Архипов Н.П., Февралёва Л.Т., Бобрикова Е.Т. Накопление тяжёлых естественных радионуклидов огурцами в условиях закрытого и открытого грунта. // *Агрохимия*. – 1986. - №3. – С. 86-91.
4. Гулякин И.В., Юдинцева Е.В., Горина Л.И. Накопление цезия -137 в урожае в зависимости от видовых особенностей растений. // *Агрохимия*. – 1975. - №7. – С. 124-129.
5. Дворник А.М., Жученко Т.А. Поведение ^{137}Cs в сосновых насаждениях Белорусского Полесья: моделирование и прогноз. // *АНРИ*. – 1995. - № ¾. – С. 60-66.
6. Дричко В.Ф., Крисюк Э.М., Поникарова Т.М. и др. Пути формирования доз облучения современного человека в связи с его хозяйственной деятельностью. // *Радиационная гигиена. Вестник*. – 1997. – С. 67.
7. Квасникова Е.В., Жукова О.М., Гордеев С.К., Константинов С.В., Киров С.С., Лысак А.В., Манзон Д.А. ^{137}Cs в почвах ландшафтов через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2009. - № 5. – С. 66-83.
8. Кобцева М.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г. Распределение ^{137}Cs в зависимости от физико-химических показателей почв тридцатикилометровой зоны Волгоградской АЭС. // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*. 2010. - № 2а. – С. 175-179.
9. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. О взаимосвязи между содержанием микроэлементов в растениях и дерново-подзолистых почвах. // *Агрохимия*. – 1964. - №б. – С. 118-122.
10. Охрименко С.Е., Петрова Т.Б., Лисунова В.В. Содержание радионуклидов естественного происхождения в грунтах г. Москвы, Измерения №1. // *АНРИ*. – 2000. – С. 23-27.

11. Таскаев А.И., Овченков В.Я., Алексахин Р.М. Поступление радия в растения и измерение его состояния в звене почва – наземная масса – опад. Химия и агрохимия почв, // Почвоведение. – 1977. - №2. – С. 41- 47.
12. Титаева Н.А., Таскаев А.И., Овченков В.Я. Содержание и особенности поступления изотопов U, Th, Ra и Rn в растениях, произрастающих в различных радиоэкологических условиях. // Экология. – 1978. - №4. – С. 106-112.
13. Февралёва Л.Т., Фёдорова Т.А., Бобриквва Е.Т. Переход естественных радионуклидов в сельскохозяйственные растения из поливной воды. // Агрохимия. – 1991. - №2. – С. 83- 91.

Рецензенты:

Вардуни Т.В., д.п.н., к.б.н., профессор, заведующая отделом экологических инноваций Академии биологии и биотехнологии, директор Ботанического сада ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону;

Симонович Е.И., д.б.н., старший научный сотрудник Академии биологии и биотехнологии ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.