

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 504.064.2

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.66

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЬНЫЙ»

Е. А. Гончаров, Н. А. Булыгина, С. Г. Васин

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

Приведены результаты исследований вертикального и горизонтального распределения радионуклидов ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в сопряжённых геосистемах западного кластера национального парка «Смольный». Установлено, что уровень поверхностного загрязнения почв ^{137}Cs изменяется от 6,1–6,8 кБк/м² на водоразделе, его склонах и 11,2–15,6 кБк/м² – в пойме и на надпойменных террасах до 22,7 кБк/м² на юго-восточной окраине первой надпойменной террасы кластера, причём в верхнем 0–5 см слое лесных почв содержится 83–90 % ^{137}Cs , в пойменных почвах это содержание снижается до 48–50 %. Удельная активность терригенных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах определяется минералогическим составом почвообразующих пород: в песчаных лесных почвах содержание минимально (соответственно 3–17, ≤ 8 и 40–100 Бк/кг), в пойменных – максимально (соответственно 17–28, 33–37 и 490–600 Бк/кг). Вклад почвенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) в формирование мощности эквивалентной дозы гамма-излучения составляет от 37–62 % на лесных участках до 100 % на сельскохозяйственных пойменных участках, что позволяет определить вклад радионуклидов растительной компоненты. Максимальная интенсивность накопления ^{137}Cs (на воздушно-сухую массу) выявлена в плодовых телах шляпочных грибов ($T_f = 78 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$), щитовнике мужском ($T_f = 49 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$) и зелёных мхах ($T_f = 1\text{--}9 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$). На богатых по минеральному питанию почвах (пойма) и при близком залегании подстилающих глинистых пород (водораздел) – накопление ^{137}Cs в растительности минимально ($T_f < 1 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Ключевые слова: загрязнение; геосистема; почва; радионуклид; цезий; калий; радий; торий; накопление; мощность эквивалентной дозы.

Введение. Техногенное радиоактивное загрязнение, как фактор окружающей среды, определяет расширение перечня показателей экологического мониторинга, дополнительные требования к обеспечению безопасности человека и ограничение хозяйственной деятельности на радиационно-загрязнённых территориях.

Особый научный и практический интерес вызывает изучение радиационной обстановки на территориях национальных и природных парков, предназначенных, с одной стороны, для развития регулируемого туризма и отдыха, а с другой – сохранения природных комплексов и осуществления экологического мониторинга.

© Гончаров Е. А., Булыгина Н. А., Васин С. Г., 2017.

Для цитирования: Гончаров Е. А., Булыгина Н. А., Васин С. Г. Радиоэкологические исследования ландшафтов национального парка «Смольный» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 4 (36). С. 66–81. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.66



Рис. 1. Плотность загрязнения ^{137}Cs территории Мордовии по состоянию на 1995 г. [Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины / Главный редактор Ю.А. Израэль. М.: ИГКЭ Росгидромета, Роскартография, 1998. URL: <http://www.feerc.obninsk.org/Ru/Prod1.xml> (дата обращения: 01.10.2017)]

В этом плане национальный парк «Смо́льный», входящий в настоящее время в состав ФГБУ «Заповедная Мордовия», представляет собой уникальный объект, созданный в 1995 году для сохранения особо ценных природных комплексов зоны хвойно-широколиственных лесов Республики Мордовия, имеющих особую экологическую, эстетическую ценность, и использования их в природоохранных, научных и рекреационных целях. При этом часть территории парка была расположена на участках, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

По данным Росгидромета, на 7 % территории Республики Мордовия сформировались поля загрязнения ^{137}Cs с уровнями от 1 до 5 Ки/км² (рис. 1).

При этом лесные участки по ряду причин (приуроченность к возвышенным формам рельефа, сравнительно низкое плодородие лесных почв, ограниченность применения реабилитационных мер) оказались наиболее восприимчивыми к радиоактивному загрязнению и в настоящее время остаются наиболее загрязненными.

С 2001 года радиоэкологические исследования на территории парка выполняются лабораторией радиационной экологии Поволжского государственного технологического университета.

Цель исследования – оценка распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах и связанных с ними уровней облучения человека в различных ландшафтных условиях национального парка «Смо́льный».

При этом ставились **задачи**:

- составить ландшафтную характеристику территории исследования;
- выполнить радиоэкологические исследования на ключевых участках, соответствующих основным геосистемам (ранга местности) территории исследования: установить распределение радионуклидов в почвенном профиле и накопление в растительности;
- выполнить пешеходную гамма-спектрометрическую съёмку вдоль ландшафтного профиля для оценки пространственного изменения радиационных параметров;

- оценить мощность дозы гамма-излучения и вклад в его формирование техногенных и терригенных радионуклидов в различных геосистемах.

Объекты и методика исследований. Объектом исследования являлись геосистемы НП «Смольный» в пределах функциональной зоны мониторинга природной среды в условиях радиоактивного загрязнения (рис. 2).

Особенностью ландшафтной дифференциации территории национального парка «Смольный» является хорошо выраженная склоновая смена природных территориальных комплексов от водораздельных пространств к пойме р. Алатыря (рис. 3).

Участок исследования является репрезентативным – на нём представлены

все основные геосистемы национального парка [1]:

- местность водно-ледниковой равнины (абсолютные высоты 150–180 м; литогенная основа – водно-ледниковые пески; почвы – светло-серые и дерново-подзолистые песчаные, супесчаные; растительность – дубовые и дубово-липовые леса с вторичными мелколиственными насаждениями) – на рис. 3 обозначена индексом Б;

- местность аллювиально-водно-ледниковой равнины (высоты 130–150 м; литогенная основа – пески, подстилаемые песчано-глинистыми породами нижнемелового и юрского возрастов; почвы – подзолистые, дерново-слабо- и среднеподзолистые песчаные и супесчаные; растительность – смешанные леса с сосной, елью, липой, дубом) – на рис. 3 обозначена индексом В;

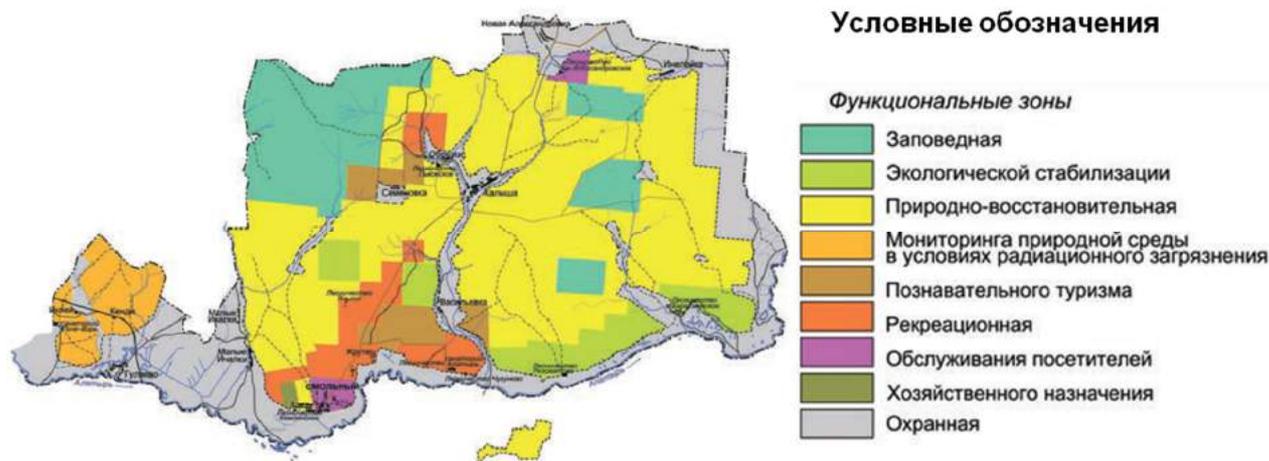


Рис. 2. Функциональное зонирование территории НП «Смольный» [1]



Рис. 3. Фрагмент ландшафтной карты [1] и плана лесонасаждений

- местность надпойменных террас (высоты 107–130 м; литогенная основа сложена преимущественно древнеаллювиальными песками, имеющими мощность более 10 м; рельеф представлен дюнами и котловинами выдувания; на вершинах бугров (дюн) распространены боры белошники на слабогумусированных песках, которые вниз по склону сменяются сосняками-зеленошниками на дерново-слабоподзолистых почвах, а у их основания располагаются сосняки-долгошники на дерново-глеевых почвах) – на рис. 3 обозначена индексом Г;

- местности пойм на рис. 3 обозначены индексом Д.

На участке изначально сформировалось максимальное радиоактивное загрязнение на территории парка – по данным наземного поквартального обследования лесного фонда в 1994 году плотность загрязнения почвы ^{137}Cs достигала $1,2 \text{ Ки/км}^2$.

На первом этапе в среде MapInfo разрабатывалась геоинформационная система (ГИС), включающая цифровую модель рельефа (ЦМР) и геологическую основу, которая позволила выделить геоморфологические и геологические особенности территории, определить направления ландшафтных профилей и ключевые участки (рис. 4) [2].

На втором этапе проводились исследования на ключевых участках и пеше-

ходная гамма-съемка вдоль ландшафтного профиля: от водораздела до русла р. Алатыря. Для этого профиль разбивался на участки, соответствующие геосистемам ранга местности. При этом учитывались: элементы рельефа, характер растительности, тип хозяйственного использования. Дополнительно был заложен поперечный профиль для детализации участка с максимальным уровнем радиоактивного загрязнения.

На ключевых участках в пределах каждой местности проводился отбор проб почвы (с разделением на подстилку, слои 0–5, 5–10, 10–15, 15–20 см) и растительности. Отбор, пробоподготовка и измерения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th на стационарном гамма-спектрометре МКС-01 А «Мультирад» выполнялись в лаборатории радиационной экологии ПГТУ с соблюдением требований, изложенных в методиках [3, 4].

Вдоль профилей выполнялась пешеходная гамма-съемка портативным спектрометром МКС-01 А «Мультирад» с GPS-привязкой и программным обеспечением «Прогресс-Навигатор» для определения вариации радиологических параметров: мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД), удельной активности в почве ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и плотности поверхностного загрязнения ^{137}Cs .

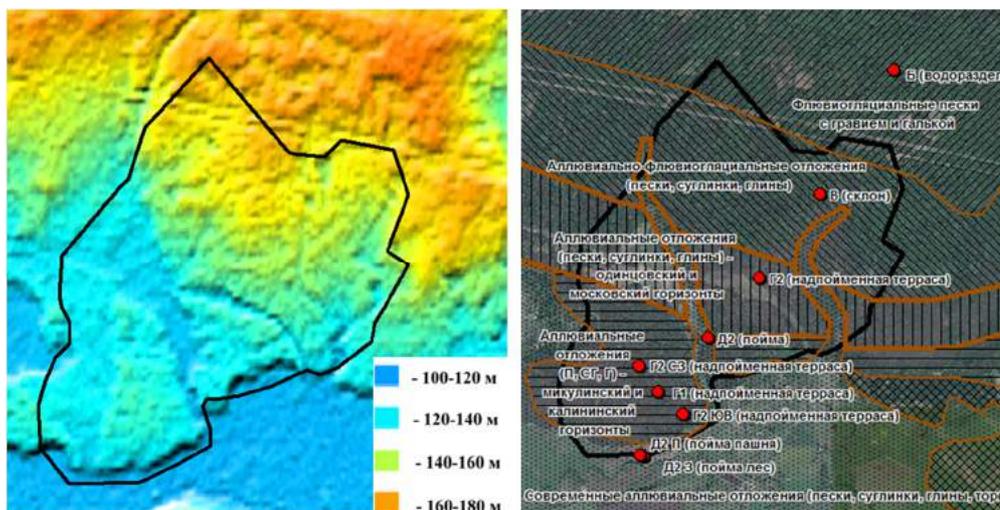


Рис. 4. Модель рельефа и геология территории исследования

По характеру распределения радионуклидов в почвенном профиле на ключевых участках оценивались поправочные коэффициенты к результатам полевых измерений портативным спектрометром по методике [5]. По итогам съёмки откорректированные данные экспортировались в разработанную ГИС, строились тематические карты, проводилась статистическая обработка в пределах выделенных геосистем.

Оценка вклада природных и техногенных радионуклидов в формирование дозы внешнего облучения человека осуществлялась с помощью дозовых коэффициентов для ^{40}K 0,0417 нГр·кг/(Бк·ч), ^{226}Ra 0,461 нГр·кг/(Бк·ч), ^{232}Th 0,604 нГр·кг/(Бк·ч) [6–8], для ^{137}Cs 6 (мкЗв/год)/(кБк/м²)¹.

Результаты и их обсуждение. Программа исследования ключевых участков состояла: в ландшафтной характеристике и определении радиологических параметров (плотность поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs ; мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) на высоте 1 м; распределение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th по почвенному профилю; удельная активность радионуклидов в листе (хвое) древесных видов, надземной фитомассе растений живого напочвенного покрова; удельная активность радионуклидов в плодовых телах шляпочных грибов). Ландшафтная характеристика и основные радиологические параметры ключевых участков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика ключевых участков

Геосистемы (форма рельефа, ступень высот, растительность, почвы, геологическая основа)	Индекс ключевого участка	МЭД, мкЗв/ч	Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs кБк/м ²
Водораздельная равнина, 150-180 м, дубравы на светло-серых супесчаных почвах на флювиогляциальных отложениях днепровского горизонта	Б	0,030	11,62
Пологий склон, 130-150 м, сосново-еловые леса с примесью липы и дуба на дерново-слабоподзолистых песчаных и супесчаных почвах на аллювиально-флювиогляциальных отложениях днепровского горизонта	В	0,027	10,40
Надпойменная терраса, 115-130 м, сосняки на дерново-слабоподзолистых песчаных почвах на аллювиальных отложениях одинцовского и московского горизонтов	Г2	0,050	19,32
Пойма ручья, луга и кустарники на современных аллювиальных отложениях	Д2	0,063	18,12
Надпойменная терраса, 107-115 м, сосняки на дерново-слабоподзолистых, песчаных почвах на аллювиальных отложениях микулинского и калининского горизонтов:			
- северо-западная часть	Г1 СЗ	0,043	13,06
- центральная часть	Г1	0,047	20,40
- юго-восточная часть	Г1 ЮВ	0,076	35,82
Пойма р. Алатыря, 102-107 м, аллювиальные дерновые почвы на современных аллювиальных отложениях:			
- западина, клён ясенелистный	Д1 З	0,064	10,35
- сельскохозяйственные угодья (пашня)	Д1 П	0,061	13,92

¹ МР 2.6.1.0063-12. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии. Методические рекомендации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.06.2012) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_131643/ (дата обращения: 01.10.2017).

В ходе изучения характера распределения техногенных и природных радионуклидов в верхнем 20 см слое почвы установлено (табл. 2), что почвы различаются по составу терригенных радионуклидов: лесные почвы водораздела, склонов и надпойменных террас обеднены ^{40}K (содержание составляет 40–100 Бк/кг), ^{226}Ra (3–17 Бк/кг), ^{232}Th (≤ 8 Бк/кг), пой-

менные почвы существенно отличаются: содержание ^{40}K составляет 490–600 Бк/кг, ^{226}Ra 17–28 Бк/кг, ^{232}Th 33–37 Бк/кг. При этом распределение по глубине природных радионуклидов носит равномерный характер, за исключением ^{232}Th , который дискриминируется биотой и, следовательно, не накапливается в органогенном горизонте.

Таблица 2

Вертикальное распределение радионуклидов в почвах ключевых участков

Ключевой участок	Слой	Удельная активность, Бк/кг				Запас радионуклидов в почвенном слое, в % от общего запаса в слое 0-20 см			
		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Б	0-5	291,70±30,40	10,92±2,77	$\leq 5,12$	171,6±43,5	85,90	20,42	5,97	22,09
	5-10	19,12±2,42	7,71±1,53	5,28±2,28	108,5±25,1	10,99	28,15	29,15	27,27
	10-15	5,28±0,99	7,94±1,52	5,94±1,96	100,0±23,4	3,08	29,38	33,23	25,47
	15-20	$\leq 0,59$	4,73±1,13	4,49±1,84	78,4±19,4	0,04	22,05	31,65	25,16
В	0-5	222,00±23,20	9,83±2,33	$\leq 2,60$	84,1±26,6	86,72	30,56	5,16	35,40
	5-10	15,45±1,96	4,18±1,06	1,85±1,56	15,6±10,2	11,05	23,79	43,70	12,02
	10-15	2,29±0,58	4,17±0,95	$\leq 2,22$	21,2±9,7	1,93	27,93	24,46	19,22
	15-20	0,45±0,43	3,28±1,03	$\leq 2,79$	45,6±14,9	0,31	17,72	26,68	33,35
Г2	0-5	344,70±35,50	11,22±2,38	2,65±2,19	94,4±26,4	82,66	30,05	16,96	22,24
	5-10	41,93±4,76	6,01±1,29	$\leq 2,46$	66,7±18,2	14,77	23,64	9,03	23,08
	10-15	5,21±1,03	4,77±1,19	4,21±1,73	71,1±18,2	2,09	21,35	45,04	28,00
	15-20	1,12±0,50	5,17±1,15	2,51±1,28	62,8±17,3	0,48	24,96	28,97	26,68
Д2	0-5	618,10±64,60	25,60±5,33	11,31±7,28	363,3±89,2	48,06	13,46	4,02	10,82
	5-10	237,80±25,20	21,16±3,67	27,71±6,30	378,2±74,5	42,38	25,50	22,55	25,81
	10-15	28,76±3,54	16,78±2,76	29,95±5,30	297,0±56,0	7,72	30,47	36,73	30,54
	15-20	4,97±0,95	12,26±2,04	21,79±3,84	232,5±43,0	1,83	30,57	36,70	32,83
Г1 СЗ	0-5	228,30±23,60	5,04±1,70	5,25±2,60	129,2±30,2	89,72	14,14	19,60	21,63
	5-10	12,15±1,64	6,33±1,28	2,77±1,66	88,7±20,5	7,21	26,81	15,61	22,41
	10-15	2,43±0,62	6,23±1,17	4,25±1,63	99,8±21,3	1,66	30,41	27,59	29,06
	15-20	1,93±0,51	5,49±1,18	5,36±1,82	86,4±20,1	1,41	28,64	37,20	26,89
Г1	0-5	426,50±44,00	8,96±2,29	$\leq 2,55$	95,5±28,4	84,74	23,91	13,90	28,20
	5-10	31,77±3,66	6,49±1,31	$\leq 1,90$	44,4±14,8	11,57	31,74	16,66	24,02
	10-15	6,90±1,08	3,92±0,96	1,87±1,27	32,2±11,0	3,04	23,20	44,36	21,09
	15-20	1,44±0,49	3,48±0,91	$\leq 2,06$	39,7±12,2	0,65	21,14	25,08	26,69
Г1 ЮВ	0-5	670,20±68,30	13,58±3,04	$\leq 3,56$	105,4±27,6	88,54	33,04	7,76	23,20
	5-10	33,92±3,90	5,97±1,25	2,64±1,65	70,2±18,6	7,06	22,90	23,06	24,37
	10-15	14,78±1,88	4,32±1,03	3,44±1,55	63,3±15,9	3,61	19,41	35,20	25,74
	15-20	2,99±0,77	5,04±1,05	3,05±1,40	60,3±15,2	0,79	24,65	33,98	26,69
Д1 З	0-5	123,40±13,30	21,26±3,46	32,83±6,10	547,8±95,4	50,25	22,07	20,71	23,12
	5-10	63,02±7,11	24,24±3,56	36,13±5,38	554,9±95,3	28,59	28,04	25,39	26,10
	10-15	31,70±4,05	20,52±3,12	33,37±5,12	492,2±85,2	16,30	26,89	26,57	26,23
	15-20	9,57±1,66	17,74±2,99	34,72±5,11	465,9±82,0	4,86	22,99	27,34	24,55
Д1 П	0-5	56,07±6,56	22,51±3,24	36,26±5,46	595,0±101,0	20,81	18,45	18,98	19,81
	5-10	62,60±7,30	27,99±4,11	37,08±5,53	597,0±107,0	32,29	31,88	26,97	27,62
	10-15	60,11±7,01	23,77±3,78	37,73±5,96	593,0±105,0	33,53	29,28	29,68	29,67
	15-20	26,80±3,66	18,51±3,15	34,67±5,39	512,0±92,2	13,37	20,39	24,38	22,90

Распределение ^{137}Cs носит иной характер: в лесных почвах водораздела, его склонов и надпойменных террас 83–90 % радионуклидов содержится в верхнем 0–5 см слое почвы, что обусловлено атмосферным поступлением загрязнителя и активным вовлечением его в биологический круговорот (корневые системы растений, мицелий грибов, микроорганизмы, почвенные животные – надземная фитомасса – опад – подстилка и т. д.).

Цезий вследствие низкого содержания в почве своего химического аналога – калия – активно поглощается биотой, что препятствует его выносу в глубь почвенного профиля – на глубине 15–20 содержание ^{137}Cs не превышает 1,5 % от запаса в почве. На пойменных участках цезий интенсивнее мигрирует в почвенном профиле: содержание в слое 0–5 см составляет 48–50 %, на глубине 15–20 см – 1,5–5 %.

Окультуренные пойменные почвы отличаются выровненным содержанием всех радионуклидов в пахотном горизонте.

На ключевых участках проводился анализ содержания радионуклидов в древесном и кустарниковом ярусах (по ассимилирующим органам, которые по установленным ранее функциональным зависимостям позволяют получить оценку содержания радионуклидов в других органах и тканях древесных растений [9, 10]) и живом напочвенном покрове (по видам-доминантам и видам-биоиндикаторам – мхи, папоротники, плодовые тела шляпочных грибов). Для характеристики интенсивности накопления определялся коэффициент перехода (Tf – transfer factor [11]), как отношение удельной активности радионуклида в воздушно-сухой растительной пробе (Бк/кг) к его содержанию в почве (Бк/м²) (табл. 3).

Таблица 3

Накопление радионуклидов в растениях и грибах

Ключевой участок	Проба	Удельная активность, Бк/кг				Tf ^{137}Cs , $10^{-3}\text{ м}^2/\text{кг}$
		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Б	Дуб черешчатый (листья)	8,2±3,1	6,5±3,2	≤3,7	159,2±53,2	0,71
	Клен остролистн. (листья)	≤1,5	4,1±2,5	≤3,2	161,5±47,0	0,06
	Осока волосистая	≤0,9	5,7±2,1	≤3,8	525,8±96,9	0,04
В	Сосна обыкновенная (хвоя)	26,6±5,0	11,7±4,3	≤5,8	284,5±78,8	2,55
	Дуб черешчатый (листья)	129,4±13,7	9,1±2,3	≤2,1	41,3±18,8	12,44
	Звездчатка ланцетолистн.	143,3±19,5	11,8±7,5	≤13,8	1029,0±265,0	13,78
Г2	Сосна обыкновенная (хвоя)	20,7±3,3	3,3±2,1	≤3,6	246,1±58,5	1,07
	Вейник наземный	11,0±2,3	6,2±2,5	≤6,1	191,5±46,8	0,57
	Дикранум волнистый	177,2±20,7	10,7±3,9	≤4,9	175,1±71,8	9,17
	Белый гриб	1505,0±154,0	8,3±5,1	≤5,4	658,0±147,0	77,90
Д2	Таволга вязолистная	≤1,5	4,3±1,4	≤1,8	123,2±28,9	0,04
	Осока ср.	6,9±1,5	6,9±2,1	≤2,5	144,6±38,1	0,38
Г1 С3	Сосна обыкновенная (хвоя)	6,8±1,6	6,8±2,0	≤2,0	82,5±28,6	0,52
	Злаки ср.	3,9±1,4	8,4±2,2	≤2,3	167,2±42,0	0,30
	Черника (листья)	3,7±3,8	10,1±5,5	≤8,2	386,0±128,0	0,28
	Дикранум волнистый	15,2±3,9	21,3±5,2	11,8±6,2	368,2±93,5	1,16
Г1	Сосна обыкновенная (хвоя)	49,2±6,5	7,4±2,9	≤3,2	216,5±56,6	2,41
	Бересклет бородавчатый	≤4,34	8,46±5	≤8,64	643,0±157,0	0,16
	Дикранум волнистый	117,2±13,3	12,3±3,9	≤3,8	173,2±49,9	5,75
	Польский гриб	1595,0±166,0	35,4±12,4	≤11,8	1169,0±277,0	78,19
Г1 ЮВ	Сосна обыкновенная (хвоя)	10,1±2,1	≤2,5	≤2,0	90,7±32,7	0,28
	Малина (листья)	49,4±6,1	5,5±2,3	≤2,5	238,2±55,3	1,38
	Щитовник мужской	1760,0±178,0	28,5±5,6	≤3,7	259,8±62,7	49,13
	Злаки ср.	32,1±4,1	6,5±2,0	≤5,0	132,9±34,1	0,90
	Плевроциум Шребера	141,7±16,1	11,9±3,9	≤4,7	45,8±36,4	3,96
	Дикранум волнистый	238,3±26,1	8,8±4,4	≤5,5	≤40,5	6,65
Д1 3	Клен ясенелистн. (листья)	≤4,3	30,7±6,8	≤6,9	553,0±136,0	0,21

Накопление радионуклидов в биологических объектах зависит от многих факторов: химических свойств и биофильности радионуклидов, их концентрации в субстрате, горизонтальной и вертикальной неоднородности распределения радионуклидов, корней и мицелия в почве, систематической принадлежности и этапа онтогенеза организма, сезона года и метеорологических условий, почвенных свойств, формы рельефа, типа лесорастительных условий [9, 10, 12]. Поэтому в рамках данного исследования можно отметить только тенденции, соответствующие результатам других исследователей:

- максимальная интенсивность накопления наблюдается в плодовых телах шляпочных грибов ($Tf^{137}\text{Cs} = 78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$); далее следует щитовник мужской ($Tf^{137}\text{Cs} = 49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$) и зелёные мхи ($Tf^{137}\text{Cs} = 1-9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$);

- максимальная интенсивность накопления ^{137}Cs в древесных и покрытосеменных травянистых видах наблюдается на ключевом участке В пологого склона с сосново-еловыми лесами с примесью липы и дуба на дерново-слабоподзолистых песчаных и супесчаных почвах на аллювиально-флювиогляциальных отложениях днепровского горизонта: у дуба черешчатого $Tf = 12,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, у сосны обыкновенной $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, что в первую очередь связано с дефицитом калия (аналога цезия) в почвах этого участка, сформировавшихся на флювиогляциальных песках (см. табл. 2);

- на богатых по минеральному питанию почвах (пойма) и при близком залегании подстилающих глинистых пород (водораздел) – накопление ^{137}Cs в растительности минимально ($Tf < 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$);

- накопление природных радионуклидов зависит от их содержания в почве и систематической принадлежности организмов, при этом ^{232}Th дискриминируется растениями и грибами.

Сравнение полученных данных с результатами исследований лаборатории

радиационной экологии ПГТУ в 2001–2005 гг. показывает, что произошло снижение уровня загрязнения мохового покрова в 1,4–1,5 раза, хвои сосны – 1,6–2,2 раза, листвы дуба – в 3–4 раза [13].

Факторы, определяющие радиационную обстановку территории, можно сгруппировать на природные (геологическое строение, физико-географическое положение, атмосферные процессы) и связанные с хозяйственной деятельностью человека (использование радиоактивных веществ, деятельность предприятий ядерного топливного цикла, перераспределение и концентрирование природных радионуклидов и др.). Пространственное распределение природных терригенных радионуклидов в основном связано с геологическим строением местности, в частности с почвообразующими породами. Для техногенных радиоактивных атмосферных выпадений характерна изначально высокая пространственная неоднородность загрязнения, что на макроуровне связано с удалённостью от источника выброса и метеорологическими условиями выпадения, а на микроуровне – с характером растительного покрова и микрорельефом [9, 10]. Для изучения пространственной неоднородности распределения техногенных и терригенных гамма-излучающих радионуклидов применяются программно-приборные комплексы гамма-съёмки территории *in situ* [2, 5, 14] с использованием ГИС-технологий.

Для оценки пространственного изменения радиационных параметров была выполнена пешеходная гамма-спектрометрическая съёмка вдоль ландшафтных профилей, с учётом распределения радионуклидов в почвенном профиле на ключевых участках оценивались поправочные коэффициенты и проводилась корректировка результатов полевых измерений, далее проводилась статистическая обработка данных в пределах выделенных геосистем и в ГИС строились тематические карты (рис. 5, 6).

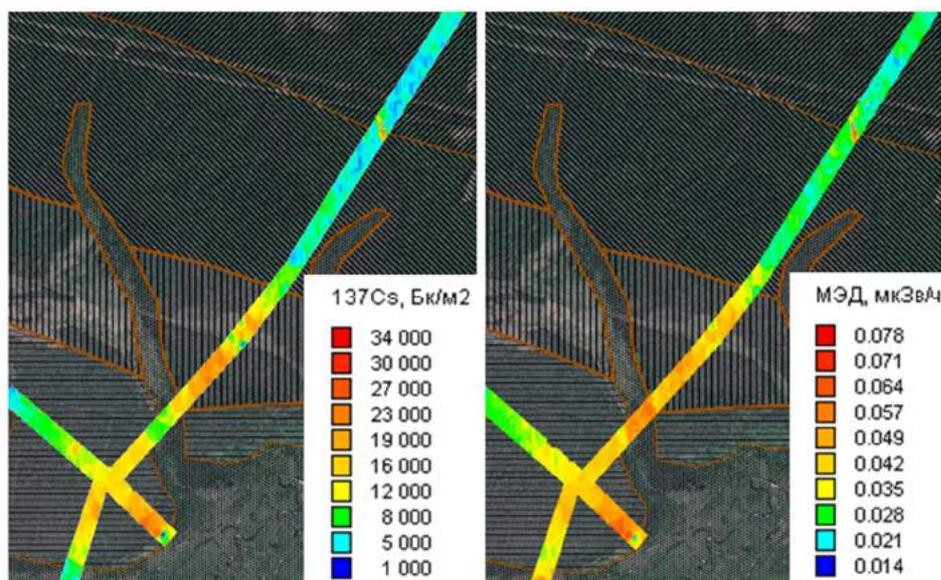


Рис. 5. Изменение вдоль профилей содержания ^{137}Cs в почве и МЭД на высоте 1 м

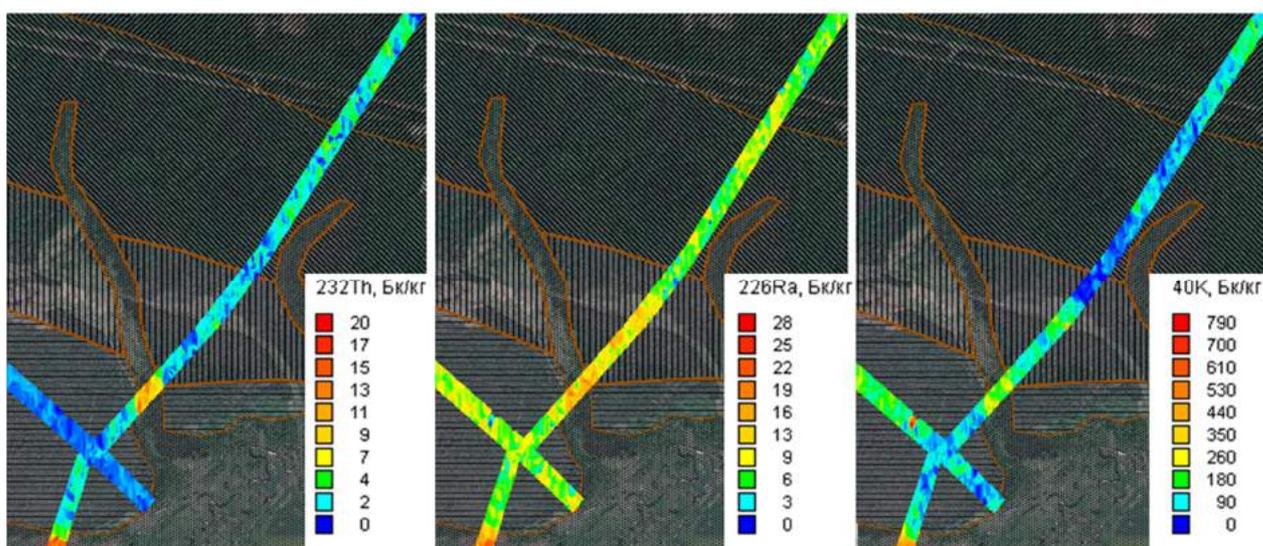


Рис. 6. Изменение вдоль профилей содержания ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K

Результаты статистической обработки приведены в табл. 4. Анализ изменения радиологических параметров вдоль ландшафтного профиля позволяет сделать следующие выводы:

- гамма-фон характеризуется в пределах выделенных геосистем как однородный: коэффициент вариации мощности дозы составляет 6–16 %;

- средние значения МЭД изменяются от 0,02 на водоразделе до 0,06 мкЗв/ч в пойме (за счёт терригенных радионуклидов) и участках техногенных аномалий

(по ^{137}Cs); при этом следует учитывать, что спектрометр МКС-01 А «Мультирад» обладает минимальным нулевым фоном (0,004 мкЗв/ч), что позволяет однозначно связывать значения мощности дозы с уровнем содержания радионуклидов в почве и растительности (при использовании газоразрядных счётчиков, чувствительных к космогенному излучению, уровни МЭД будут выше на 0,02–0,08 мкЗв/ч);

- МЭД соответствует нормам радиационной безопасности;

Таблица 4

Результаты статистической обработки

Геосистема	Радиологические параметры	Статистические показатели					
		x	±m	min	max	s	V, %
Б	МЭД, мкЗв/ч	0,0242	0,0002	0,0173	0,0377	0,0028	11
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	6127,8	72,4	3343,1	10776,9	1274,6	21
	²²⁶ Ra, Бк/кг	5,97	0,13	0,34	11,72	2,28	38
	²³² Th, Бк/кг	5,98	0,17	0,14	18,52	2,99	50
	⁴⁰ K, Бк/кг	105,1	2,7	1,3	249,0	47,6	45
Б Летний выгон скота	МЭД, мкЗв/ч	0,0630	0,0011	0,0528	0,0695	0,0050	8
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	26483,6	631,2	19507,7	30161,5	2960,4	11
	²²⁶ Ra, Бк/кг	8,99	0,53	4,05	12,68	2,49	28
	²³² Th, Бк/кг	3,84	0,45	0,32	8,37	2,09	54
	⁴⁰ K, Бк/кг	4,4	2,5	0,0	38,0	11,6	265
В	МЭД, мкЗв/ч	0,0261	0,0001	0,0139	0,0341	0,0029	11
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	6810,2	72,1	2922,3	10753,8	1474,7	22
	²²⁶ Ra, Бк/кг	6,76	0,13	0,07	14,03	2,63	39
	²³² Th, Бк/кг	1,34	0,03	0,09	3,89	0,65	48
	⁴⁰ K, Бк/кг	76,8	1,9	0,3	206,4	39,8	52
Г2	МЭД, мкЗв/ч	0,0449	0,0004	0,0304	0,0557	0,0050	11
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	15592,0	249,6	8134,5	20959,1	3235,1	21
	²²⁶ Ra, Бк/кг	8,68	0,24	0,86	18,88	3,12	36
	²³² Th, Бк/кг	1,01	0,03	0,02	2,14	0,45	45
	⁴⁰ K, Бк/кг	100,5	4,1	1,2	242,4	53,0	53
Д2	МЭД, мкЗв/ч	0,0551	0,0004	0,0410	0,0679	0,0059	11
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	13534,0	263,5	8181,2	22282,6	3593,5	27
	²²⁶ Ra, Бк/кг	18,70	0,37	3,50	30,76	5,08	27
	²³² Th, Бк/кг	20,33	0,40	8,54	32,97	5,40	27
	⁴⁰ K, Бк/кг	222,0	5,4	55,9	393,7	74,0	33
Г1 С3	МЭД, мкЗв/ч	0,0288	0,0002	0,0205	0,0370	0,0033	11
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	6546,8	120,6	2249,7	10157,9	1921,8	29
	²²⁶ Ra, Бк/кг	8,11	0,13	0,07	14,14	2,08	26
	²³² Th, Бк/кг	1,17	0,03	0,20	2,43	0,45	39
	⁴⁰ K, Бк/кг	177,2	3,1	82,6	316,4	49,1	28
Г1	МЭД, мкЗв/ч	0,0415	0,0002	0,0298	0,0513	0,0040	10
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	12723,7	98,0	8608,2	17771,9	1716,3	13
	²²⁶ Ra, Бк/кг	7,06	0,17	0,25	18,38	2,95	42
	²³² Th, Бк/кг	1,07	0,03	0,01	2,84	0,55	51
	⁴⁰ K, Бк/кг	86,9	2,5	0,4	255,3	44,0	51
Г1 ЮВ	МЭД, мкЗв/ч	0,0591	0,0008	0,0403	0,0899	0,0104	18
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	22722,4	449,0	14713,5	42222,2	6040,6	27
	²²⁶ Ra, Бк/кг	6,66	0,19	0,07	13,96	2,61	39
	²³² Th, Бк/кг	1,09	0,03	0,05	1,90	0,38	35
	⁴⁰ K, Бк/кг	60,8	2,6	0,9	190,9	35,3	58
Д1 3	МЭД, мкЗв/ч	0,0502	0,0009	0,0333	0,0600	0,0081	16
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	11238,4	412,8	3503,6	20218,2	3550,7	32
	²²⁶ Ra, Бк/кг	23,67	0,58	10,81	33,60	4,95	21
	²³² Th, Бк/кг	26,79	0,77	9,67	38,96	6,60	25
	⁴⁰ K, Бк/кг	397,1	13,9	116,5	632,6	119,3	30
Д1 П	МЭД, мкЗв/ч	0,0624	0,0011	0,0571	0,0669	0,0035	6
	¹³⁷ Cs, Бк/м ²	9072,1	479,1	6892,8	10659,4	1514,9	17
	²²⁶ Ra, Бк/кг	23,45	1,97	15,33	37,46	6,22	27
	²³² Th, Бк/кг	33,85	2,00	25,66	42,03	6,34	19
	⁴⁰ K, Бк/кг	573,5	23,7	496,8	725,3	75,1	13

Примечание: x – среднее; ±m – ошибка среднего; min – минимальное; max – максимальное значение; s – среднее квадратичное отклонение; V – коэффициент вариации.

- коэффициент вариации значений поверхностной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в пределах выделенных геосистем составляет 11–32 %, что соответствует ранее опубликованным данным для лесных территорий [9, 10]; при этом максимальная пространственная неоднородность наблюдается на первой надпойменной террасе (сложный микро- и мезорельеф, влияние крон деревьев на участке Г1 ЮВ на распределение осадков в момент радиоактивных выпадений), а также в пойме из-за чередования обрабатываемых и необрабатываемых участков);

- средние уровни техногенного загрязнения геосистем изменяются от 6,1–6,8 кБк/м² на водоразделе, его склоне и в северо-западной части первой надпойменной террасы, в пойме и на надпойменных террасах загрязнение уже составляет 11,2–15,6 кБк/м² и достигает максимума 22,7 кБк/м² (на локальных участках до 42,2 кБк/м² или 1,14 Ки/км²) на юго-восточной окраине первой надпойменной террасы;

- рисунок загрязнения сформировался весной 1986 года – дожди прошли в пойме р. Алатыря, уступы террас и стена леса спровоцировали увеличение интенсивности радиоактивных осадков (рис. 7); впоследствии при обработке сельскохозяйственных угодий загрязнение было ниве-

лировано, в то же время на лесных участках и территории с. Гуляево², расположенного в пойме р. Алатыря к югу от парка, в почвах сохраняется повышенное содержание ^{137}Cs до 3,5 Ки/км²;

- выявлена локальная техногенная аномалия ^{137}Cs на границе геосистем Б и В, что связано с сельскохозяйственным использованием участка в прошлом (летний выгон скота) – средний уровень загрязнения почвы составил 26,5 кБк/м²;

- пространственное распределение терригенных радионуклидов соответствует геологическому строению местности и минералогическому составу почвообразующих пород: на водоразделе, его склоне и надпойменных террасах удельная активность ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почве минимальна и составляет соответственно 6–12, 1–6, 60–171 Бк/кг, коэффициент вариации 20–60 %; в почвах поймы р. Алатыря с увеличением глинистой фракции существенно возрастает содержание природных радионуклидов: ^{226}Ra 18–24, ^{232}Th 20–34 и ^{40}K 400–570 Бк/кг.

По данным (табл. 4) и с применением соответствующих дозовых коэффициентов [6–8] был оценен вклад техногенных и терригенных радионуклидов в формирование мощности дозы гамма-излучения (МЭД) на высоте 1 м от поверхности почвы для выделенных геосистем (табл. 5).

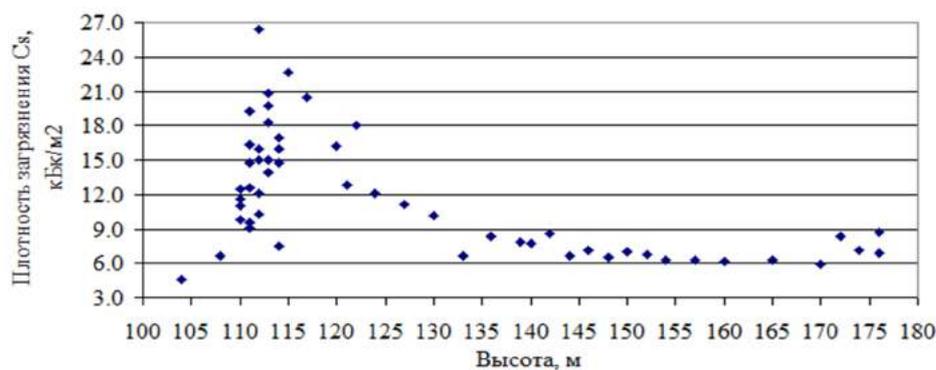


Рис. 7. Зависимость уровня загрязнения почвы ^{137}Cs от высоты местности

² Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240 / Под редакцией С.М. Вакуловского, подготовил В.Н. Яхрюшин. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2017. URL: http://www.typhoon.obninsk.ru/upload/medialibrary/e38/ezheg_rzrf_2017.pdf (дата обращения: 01.10.2017).

Таблица 5

Вклад почвенных радионуклидов в формирование мощности дозы гамма-излучения

Геосистема	МЭД на высоте 1 м, мкЗв/ч	Вклад в формирование мощности дозы гамма-излучения радионуклидов, содержащихся в почве								
		¹³⁷ Cs		²²⁶ Ra		²³² Th		⁴⁰ K		Сумма
		мкЗв/ч	%	мкЗв/ч	%	мкЗв/ч	%	мкЗв/ч	%	%
Б	0,024	0,004	17,4	0,003	11,4	0,004	14,9	0,004	18,1	61,8
Б Летний выгон скота	0,063	0,018	28,8	0,004	6,6	0,002	3,7	0,000	0,3	39,4
В	0,026	0,005	17,9	0,003	12,0	0,001	3,1	0,003	12,3	45,3
Г2	0,045	0,011	23,8	0,004	8,9	0,001	1,4	0,004	9,3	43,4
Д2	0,055	0,009	16,8	0,009	15,6	0,012	22,3	0,009	16,8	71,5
Г1 СЗ	0,029	0,004	15,6	0,004	13,0	0,001	2,5	0,007	25,6	56,6
Г1	0,042	0,009	21,0	0,003	7,8	0,001	1,5	0,004	8,7	39,1
Г1 ЮВ	0,059	0,016	26,3	0,003	5,2	0,001	1,1	0,003	4,3	36,9
Д1 З	0,062	0,006	10,0	0,011	17,3	0,020	32,7	0,024	38,3	98,3
Д1 П	0,050	0,008	15,3	0,011	21,7	0,016	32,2	0,017	33,0	102,3

Мощность дозы гамма-излучения на высоте 1 м, измеренная портативным гамма-спектрометром МКС 01 А «Мультирад» (с исключением космического излучения), формируется за счёт радионуклидов, распределённых в почве и в растительности, при этом вклад техногенного ¹³⁷Cs составляет от 10 до 29 % (минимум в пойме, максимум на участках техногенных аномалий), вклад природных радионуклидов максимален на пойменных участках: ²²⁶Ra 15–22 %, ²³²Th 22–33 %, ⁴⁰K 17–38 % и минимален на песчаных лесных почвах. На пойменных участках Д1 эти четыре радионуклида определяют МЭД практически на 100 % (с учётом неопределённости измерения 10 %). На пойменном участке Д2 суммарный вклад составляет 72 %, на лесных участках – 37–45 %, при увеличении содержания калия в лесных почвах значения увеличиваются до 57–62 %. Это позволяет предположить, что остальной вклад вносят радионуклиды, распределённые в растительности (главным образом в древесном ярусе).

Заключение. Мониторинговые исследования имеют важное научное и практическое значение, особенно на территориях, используемых для развития регулируемого туризма и отдыха людей. На момент первоначальных наземных исследований территория западного кластера

Национального парка «Смольный» относилась к зоне радиоактивного загрязнения со льготным социально-экономическим статусом. Многолетние радиэкологические исследования показывают, что на фоне снижения уровня загрязнения геосистем техногенным ¹³⁷Cs (в основном за счёт радиоактивного распада) сохраняются и выявляются локальные участки с относительно высокими уровнями загрязнения (более 37 кБк/м², или 1 Ки/км²), что делает актуальным необходимость регулирования рекреационной деятельности, сбора пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений на территории парка для обеспечения требований радиационной безопасности.

В работе был применён ландшафтный подход, что позволило определить ключевые участки, соответствующие основным геосистемам (ранга местности), направления ландшафтных профилей, дать характеристику и выявить особенности радиэкологических параметров геосистем изученной территории.

При изучении вертикального распределения радионуклидов в почвенном профиле на ключевых участках установлено:

- лесные почвы водораздела, его склонов и надпойменных террас обеднены ⁴⁰K (40–100 Бк/кг), ²²⁶Ra (3–17 Бк/кг) и ²³²Th (≤ 8 Бк/кг), пойменные почвы,

напротив, отличаются повышенной удельной активностью ^{40}K (490–600 Бк/кг), ^{226}Ra (17–28 Бк/кг), ^{232}Th (33–37 Бк/кг), что связано с увеличением содержания глинистой фракции; распределение по глубине природных радионуклидов носит равномерный характер, за исключением ^{232}Th , который дискриминируется биотой и не накапливается в органогенном горизонте;

- 83–90 % ^{137}Cs в лесных почвах водораздела, его склонов и надпойменных террас содержится в верхнем 0–5 см почвенном слое, на глубине 15–20 см его содержание не превышает 1,5 % от общего запаса в почве; на пойменных участках радиоцезий интенсивнее мигрирует вглубь: содержание в слое 0–5 см составляет 48–50 %, на глубине 15–20 см – 1,5–5 %;

- средние уровни поверхностного загрязнения почв ^{137}Cs изменяются от 6,1–6,8 кБк/м² на водоразделе, его склоне и в северо-западной части первой надпойменной террасы, в пойме и на надпойменных террасах загрязнение составляет 11,2–15,6 кБк/м² и достигает максимума 22,7 кБк/м² на юго-восточной окраине первой надпойменной террасы;

- окультуренные пойменные почвы отличаются выровненным содержанием всех радионуклидов в пахотном горизонте.

В ходе анализа накопления радионуклидов в биологических объектах выявлено:

- максимальная интенсивность накопления ^{137}Cs наблюдается в плодовых телах шляпочных грибов ($Tf=78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$), щитовнике мужском ($Tf=49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$) и зелёных мхах ($Tf=1-9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$);

- на богатых по минеральному питанию почвах (пойма) и при близком залегании подстилающих глинистых пород

(водораздел) – накопление ^{137}Cs в растительности минимально ($Tf < 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$).

Анализ данных гамма-спектрометрической съёмки вдоль ландшафтных профилей и оценка вклада радионуклидов в формирование мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) в различных геосистемах позволили сделать следующие выводы:

- гамма-фон в пределах выделенных геосистем характеризуется как однородный;

- средние значения МЭД изменяются от 0,02 на водоразделе до 0,06 мкЗв/ч в пойме и участках техногенных аномалий ^{137}Cs и соответствуют нормам радиационной безопасности;

- в пойме р. Алатырь вклад в МЭД почвенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) составляет 100 %; на лесных участках – 37–62 %, что позволяет выделить вклад радионуклидов, распределённых в растительности (главным образом, в древесном ярусе);

- основное влияние на горизонтальное распределение ^{137}Cs оказал рельеф и характер подстилающей поверхности в момент выпадения радиоактивных осадков весной 1986 года, что привело к повышенному загрязнению юго-восточной части кластера национального парка, где сохраняются аномалии до 42,2 кБк/м²;

- вариация значений поверхностной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в пределах выделенных геосистем составляет 11–32 %;

- пространственное распределение терригенных радионуклидов зависит от геологического строения местности и минералогического состава почвообразующих пород.

Список литературы

1. Географический атлас Республики Мордовия / редкол.: А.А. Ямашкин, С.М. Вдовин, Н.П. Макашкин и др. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. 204 с.
2. Landscape-biogeochemical factors of transformation of the Cs-137 contamination field in the Bryansk region / V.G. Linnik, I.V. Mironenko,

N.I. Volkova et al // Geochemistry International. 2017. Vol. 55. Iss. 10. P. 887-901.

3. Методика выполнения гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почвы и растительных материалов. М.: Рослесхоз, 1994. 16 с.

4. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2003. 30 с.
5. Гончаров Е.А., Васин С.Г., Татарников А.М. Применение портативных спектрометров для оценки плотности загрязнения ^{137}Cs лесных территорий // Журнал «АНРИ». 2012. № 4. С. 45-50.
6. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1993 Report to the General Assembly, with annexes. N. Y.: United Nations, 1993. 922 p.
7. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with annexes. Vol. 1. Sources. N. Y.: United Nations, 2000. 655 p.
8. Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В. О содержании ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в лесных почвах Республики Беларусь // Радиационная биология. Радиоэкология. 2014. Том 54. № 2. С. 193-200.
9. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems. Moscow.: Nauka, 2001. 235 p.
10. Переволоцкий А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. 255 с.
11. Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н. Оценка содержания ^{137}Cs глобального и чернобыльского происхождения в лесных почвах и некоторых видах съедобных грибов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2014. Том 54. № 2. С. 201-208.
12. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. The fate of Cs-137 in forest soils of Russian Federation and Ukraine contaminated due to the Chernobyl accident // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 142. P. 75-81.
13. Радиоэкологическая обстановка в лесных биогеоценозах ГНП «Смольный» (Республика Мордовия) / О.В. Малюта, В.В. Ядаров, Д.Е. Конаков и др. // Научные труды государственного природного заповедника «Присурский». Чебоксары: КЛИО, 2006. Т.13. Ч. 1. С.83-86.
14. Baezaa A., Corbacho J.A. In situ determination of low-level concentrations of ^{137}Cs in soils // Applied Radiation and Isotopes. 2010. Vol. 68, Iss. 4-5. P. 812-815.

Статья поступила в редакцию 04.10.17.

Информация об авторах

ГОНЧАРОВ Евгений Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, научный руководитель лаборатории радиационной экологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор 70 публикаций.

БУЛЫГИНА Наталья Алексеевна – старший преподаватель кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология. Автор 10 публикаций.

ВАСИН Сергей Геннадьевич – аспирант, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – радиоэкология. Автор 30 публикаций.

UDC 504.064.2

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.66

RADIOECOLOGICAL RESEARCH OF LANDSCAPES IN THE NATIONAL PARK «SMOLNY»

E. A. Goncharov, N. A. Bulygina, S. G. Vasin

Volga State University of Technology,
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

Keywords: pollution; geosystem; soil; radionuclide; caesium; potassium; radium; thorium; accumulation; equivalent dose rate.

ABSTRACT

*A study of radiation level in the recreational areas is of scientific and practical interest. For this reason, the goal of the paper is to assess the distribution of radionuclides ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K and to calculate the irradiation level in the major types of locality of western cluster in the national park "Smolny". In such a case, the following tasks were to be solved: to carry out radio ecological studies on the index plots and along the landscape profiles; to determine the vertical and horizontal distribution of radionuclides in soil cover and to define the intensity of accumulation in vegetation; to calculate the rate and the structure of gamma-radiation intensity in the considered geosystems. The study was carried out on the basis of a landscape approach using field and laboratory methods of gamma-ray spectrometry. **Results.** It was determined that the level of surface contamination of soil with ^{137}Cs varied within 6.1–6.8 kBq /m² in the ridge and its slopes, 11,2–15,6 kBq /m² - in the bottom-land, and up to 22.7 kBq /m² - in the terrace above flood-plain in south-eastern outskirts of first terrace rising above the floodplain of the cluster. At that, the content of ^{137}Cs in the upper 0-5 cm layer of forest soils is 83-90 % ^{137}Cs , but the content of ^{137}Cs in floodplain soil is 48-50 %. The terrain and the nature of geological substrate in the moment of radiological fallout in spring-1986 had a major impact on the horizontal distribution of ^{137}Cs . Volume activity of terrigenous radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in the soils is determined with the mineral composition of parent rock materials: it is minimum in the sandy forest soils (thus, it is 3-17, less than 8 and 40-100 Bq/kg), maximum - in the floodplain soils (thus, it is 17-28, 33-37 and 490-600 Bq /kg). Distribution of terrigenous radionuclides in depth is of steady rate, except for ^{232}Th , which is recognized with biota and is not accumulated in the organic horizon. Gamma background in the considered geosystems meets the norms of radiation security. Contribution of soil nuclides (^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in formation of the equivalent dose rate of gamma radiation is 37-62 % in forest plots, up to 100 % - in the agricultural bottomland plot, thence, it is possible to define the contribution of radionuclides in vegetation. Maximum intensity of accumulation of ^{137}Cs (for air-dry weight) is revealed in fruit bodies of mushrooms ($T_f = 78 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$), male shield fern ($T_f = 49 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$) and true mosses ($T_f = 1-9 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$). Accumulation of ^{137}Cs in vegetation is minimum ($T_f < 1 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$) in rich in mineral nutrition soils (river basin soil) and in close deposit of underlying mudrock (ridge).*

REFERENCES

1. Yamashkin A.A., Vdovin S.M., Makarkin N.P., et al. Geograficheskiy Atlas Respubliki Mordoviya [Geographic Atlas of the Republic of Mordovia]. Saransk: Izdatelstvo Mordov.un-ta, 2012. 204 p.
2. Linnik V.G., Mironenko I.V., Volkova N.I. et al. Landscape-biogeochemical factors of transformation of the Cs-137 contamination field in the Bryansk region. *Geochemistry International*. 2017. Vol. 55. Iss. 10. P. 887-901.
3. Metodika vypolneniya gamma-spektrometricheskikh izmereniy aktivnosti radionuklidov v probakh pochvy i rastitelnykh materialov [A Methodology for Gamma-Spectrometric Measurement of Radionuclide Activity in Soil and Vegetation]. Moscow: Rosleskhoz, 1994. 16 p.
4. Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispolzovaniem stsintillyatsionnogo gamma-spektrometra s programmym obespecheniem «Progress» [A Method of Measuring the Activity of Radionuclides Using a Scintillation Gamma Spectrometer with "Progress" Software]. Mendeleevo: GNMTS "VNIIFTRI", 2003. 30 p.

5. Goncharov E.A., Vasin S.G., Tatarnikov A.M. Primenenie portativnykh spektrometrov dlya otsenki plotnosti zagryazneniya ^{137}Cs lesnykh territoriy [Portable Spectrometers Use to Estimate Caesium Deposition in Forests]. *Zhurnal «ANRI»* [Journal «ANRI»]. No 4. 2012. P. 45-50.
6. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1993 Report to the General Assembly, with annexes. N. Y.: United Nations, 1993. 922 p.
7. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with annexes. Vol. 1. Sources. N. Y.: United Nations, 2000. 655 p.
8. Perevolotskiy A.N., Perevolotskaya T.V. O sodержanii ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th v lesnykh pochvakh Respubliki Belarus [On the Contents of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Forest Soils of the Republic of Belarus]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioecologiya*. [Radiation Biology. Radioecology]. 2014. Vol. 54. No 2. P. 193-200.
9. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyash-torin A.L. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems. Moscow.: Nauka, 2001. 235 p.
10. Perevolotskiy A.N. Raspre-delenie ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh biogeotsenozakh [Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in Forest Ecosystems]. Gomel: RNIUP "Institut radioekologii", 2006. 255 p.
11. Perevolotskaya T.V., Perevolotskiy A.N. Otsenka sodержaniya ^{137}Cs globalnogo i chernobyl'skogo proishozhdeniya v lesnykh pochvakh i nekotorykh vidakh sedobnykh gribov [Assessment of the Content of ^{137}Cs of the Global and Chernobyl Origin in Forest Soils and Some Types of Edible Fungi]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioecologiya*. [Radiation Biology. Radioecology]. 2014. Vol. 54, No 2. P. 201-208.
12. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyash-torin A.L. The fate of Cs-137 in forest soils of Russian Federation and Ukraine contaminated due to the Chernobyl accident. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 142. P. 75-81.
13. Maluta O.V., Yadarov V.V., Konakov D.E., et al. Radioekologicheskaya obstanovka v lesnykh biogeotsenozakh GNP «Smolnyy» (Respublika Mordoviya) [Radioecological Situation in Forest Biogeocoenoses of the Smolny National Park (Republic of Mordovia)]. *Nauchnyye trudy gosudarstvennogo prirod-nogo zapovednika «Prisurskiy»* [Scientific Papers of State Nature Reserve "Prisurskiy"]. Cheboksary: KLIO, 2006. Vol. 13. P.1. P.83-86.
14. Baezaa A., Corbacho J.A. In situ determination of low-level concentrations of ^{137}Cs in soils. *Applied Radiation and Isotopes*. 2010. Vol. 68, Iss. 4-5. P. 812-815.

The article was received 04.10.17.

For citation: Goncharov E. A., Bulygina N. A., Vasin S. G. Radioecological Research of Landscapes in the National Park «Smolny». *Vestnik of Volga State University of Technology*. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2017. No 4(36). Pp. 66–81. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.66

Information about the authors

GONCHAROV Evgeniy Alexeyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Radiation Ecology, Volga State University of Technology. Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of 70 publications.

BULYGINA Natalia Alexeyevna – Senior teacher at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – nature management, radioecology. The author of 10 publications.

VASIN Sergey Gennadyevich – Postgraduate Student, Volga State University of Technology. Research interests – radioecology. The author of 30 publications.