

УДК 574::539.1.04

*Е. А. Гончаров, Д. И. Пигалин*

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

*Приведены результаты оценки распределения радионуклидов цезия-137, калия-40, радия-226 и тория-232 в горизонтальной и вертикальной структуре лесных экосистем заповедника «Большая Кокшага» для целей фоновое радиоэкологического мониторинга. На пробных площадях (сосняк лишайниково-мишустый и дубняк крапивный) впервые проведена детальная гамма-спектрометрическая съёмка и оценка пространственного распределения техногенных и природных радионуклидов, спектрометрические измерения проб растений и грибов.*

*Установлено, что уровень загрязнения почвы цезием-137 составляет 0,8–1,0 кБк/м<sup>2</sup>, причем 60–70 % радионуклидов сосредоточено в верхнем 5–10 см слое. Содержание природных радионуклидов радия, тория и калия в рассмотренных экосистемах определяется минералогическим составом почвообразующих пород: в песчаной почве они практически отсутствуют, в аллювиальной глинистой почве содержание калия и тория в 3–6 раз выше. Пространственное распределение цезия-137 и калия-40 носит нормальный, как правило, однородный характер, распределение тяжёлых природных радионуклидов – логнормально. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения составляет 0,01–0,02 мкЗв/ч.*

*Значимое содержание цезия-137 (30–60 Бк/кг) отмечено в растительности и, следовательно, в подстилке (60–70 Бк/кг) соснового биоценоза, тяжёлые природные радионуклиды – отсутствуют. Среди компонентов биоценозов максимальный уровень накопления техногенных радионуклидов отмечен в плодовых телах грибов (до 1700 Бк/кг сухой массы).*

**Ключевые слова:** *пространственное распределение; цезий-137; калий-40; радий-226; торий-232; радиоэкологический мониторинг; лесная экосистема.*

**Введение.** Естественное ионизирующее излучение является важным фактором, влияющим на функционирование живых организмов и экосистем в целом. В результате извлечения и перераспределения природных радионуклидов с полезными ископаемыми, испытаний ядерного оружия и промышленных, радиационных аварий и катастроф произошло существенное изменение радиационной обстановки, что определяет необходимость ра-

диоэкологического мониторинга процессов миграции естественных и искусственных радионуклидов в пределах как природных (фоновых), так и природно-антропогенных систем.

Под радиационным экологическим мониторингом территории понимают систему наблюдения, оценки и прогноза радиационной обстановки. Чаще всего в качестве показателей радиационной обстановки используются значения мощности

эквивалентной дозы гамма-излучения, плотность потока бета-частиц, плотность радиоактивного загрязнения почвы техногенными радионуклидами, содержание радионуклидов в продукции животного и растительного происхождения. В частности, при мониторинге лесных территорий объектами мониторинга являются почва (содержание радионуклидов в лесной подстилке, минеральной части почвы, распределение по профилю почвы), растения и их части (структурные элементы древесных и подлесочных видов, растения живого напочвенного покрова, плоды), плодовые тела шляпочных грибов [1].

Радиационная обстановка в Республике Марий Эл остается стабильной. Уровень радиоактивного загрязнения территории республики техногенным цезием-137 составляет 1–4 кБк/м<sup>2</sup> [2], а среднее значение суммарной бета-активности выпадений в пунктах наблюдения составляет 0,6–2,5 Бк/м<sup>2</sup> в сутки, что ниже среднего по России [3]. В то же время по результатам исследований, проведенных ранее на территории Государственного природного заповедника «Большая Кокшага», в отобранных образцах грибов отмечалось повышенное, по сравнению с уровнем загрязнения почвы, содержание радиоцезия [4], поэтому представляет научный и практический интерес организация и проведение комплексных радиоэкологических наблюдений на территории заповедника «Большая Кокшага» как фонового участка, не испытывающего прямого техногенного воздействия, где радиационная обстановка обусловлена в основном естественными источниками ионизирующего излучения земного и космогенного происхождения, а также техногенными радионуклидами глобальных выпадений.

**Цель работы** – выявление закономерностей распределения техногенных и природных радионуклидов в горизонтальной и вертикальной структуре лесных экосистем заповедника «Большая Кокша-

га» в условиях глобальных радиоактивных выпадений.

При этом ставились следующие **задачи**:

- выбрать объекты исследований, различающиеся по условиям протекания миграционных процессов радионуклидов;
- определить наиболее информативные показатели радиационной обстановки и способы их измерения;
- провести полевые и лабораторные исследования компонентов лесных экосистем;
- сделать выводы о радиоэкологической обстановке и факторах, определяющих процессы миграции природных и искусственных радионуклидов в рассматриваемых экосистемах.

**Объекты и методика исследований.**

Объекты исследования были выбраны в пределах основных ландшафтов заповедника: дюнно-бугристой зандровой равнины, покрытой сосняками, и поймы р. Большая Кокшага, занятой дубово-липовыми насаждениями. Радиоэкологические исследования проводились на двух постоянных пробных площадях, заложенных сотрудниками заповедника для изучения динамики естественного изреживания древостоя, роста, дифференциации и пространственного размещения деревьев (ППП 90-3-05) и изучения лесоводственно-биологических процессов в пойменных лесах (ППП 2-Л). Характеристика участков приведена в табл. 1 и на рис. 1.

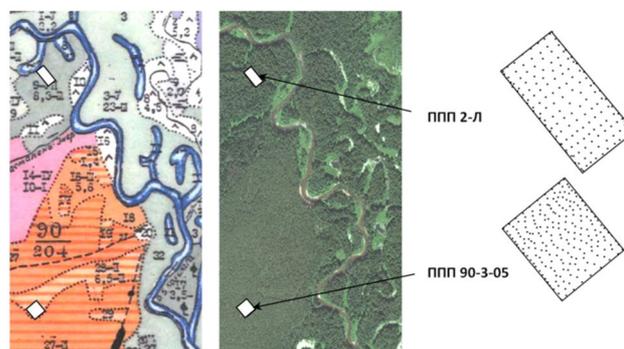


Рис. 1. Расположение пробных площадей и точек измерения

Таблица 1

## Характеристика объектов исследования

Местоположение, размер, обозначение стационарного участка	Формула состава древостоя, возраст, тип леса, ТЛУ	Живой напочвенный покров	Почва
кв. 90, выд. 27, 50×60 м, 0,3 га ППП 90-3-05	9С1Б I поколение 150-220 лет II поколение 75 лет сосняк лишайниково-мшистый, А <sub>2</sub>	кладония оленья, плевроциум Шребера, марьянник луговой, ястребинка зонтичная, ландыш майский	дерново-слабо-подзолистая песчаная слабо-гумусированная
кв. 90, выд. 9. 40×80 м, 0,32 га ППП 2-Л	8Лп1Вз1Д возраст 115 лет дубняк крапивный, С <sub>2</sub>	крапива двудомная, будра плюшевидная	аллювиальная луговая среднеглинистая на слоистых глинисто-песчаных отложениях

На объектах исследования изучались следующие показатели радиационной обстановки:

- плотность поверхностного загрязнения почвы цезием-137 и её пространственное распределение;
- пространственное распределение в почвенном покрове удельной активности естественных радионуклидов (калия-40, радия-226, тория-232);
- распределение удельной активности радионуклидов по почвенному профилю;
- мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на высоте 1 м;
- удельная активность радионуклидов в хвое (листве) древесных видов, наземной фитомассе растения живого напочвенного покрова;
- удельная активность радионуклидов в плодовых телах шляпочных грибов.

Оценка поверхностного загрязнения почвы цезием-137, пространственного распределения удельной активности естественных радионуклидов и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения проводилась методом пешеходной гамма-спектрометрической съёмки портативным спектрометрическим комплексом МКС-01 А «Мультирад-гамма» с программным обеспечением «Прогресс-Навигатор» по параллельным профилям (расстояние между профилями 3–5 м, скорость движения не более 2 км/ч, период одного измерения 6 с, высота детектора 1 м над поверхно-

стью почвы) [5, 6]. Далее в соответствии с типовой схемой наблюдений на стационарных участках по оценке радиационной обстановки в лесном фонде [1] методом конверта на пробных площадях обозначались реперные точки, в которых на высоте 1 м проводились измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения дозиметром-радиометром МКС-АТ 6130 (до достижения статистической погрешности ±10 %) и гамма-спектрометрическая съёмка МКС-01 А «Мультирад-гамма» для оценки содержания техногенных и естественных радионуклидов в почве (период одного измерения 6 с, в серии не менее 15 измерений).

В ходе предыдущих исследований [7] была установлена зависимость показаний портативного спектрометра МКС-01 А «Мультирад-гамма» от характера распределения радионуклидов по почвенному профилю, поэтому для определения поправочного коэффициента к данным полевых спектрометрических измерений после гамма-съёмки проводился послойный отбор проб почвы стандартным пробоотборником (Ø 40 мм) на глубину 20 см с разделением на 5 см слои для последующих измерений в лабораторных условиях. Дополнительно с фиксированной площади рамкой (20×20 см) отбиралась лесная подстилка.

С целью определения содержания радионуклидов в растительности проводил-

ся отбор надземной фитомассы видов живого напочвенного покрова. При этом выбирались виды-доминанты и виды – потенциальные аккумуляторы радионуклидов. Для характеристики загрязнения древесных видов отбирались ассимилирующие органы (листья и хвоя), которые среди структурных элементов древесных растений характеризуются максимальным накоплением радионуклидов [8–10]. Отбор древесины в условиях глобальных выпадений нецелесообразен.

Отобранные образцы почвы, подстилки и растительности помещали в полиэтиленовые пакеты, снабжали этикеткой и доставляли в лабораторию.

В аккредитованной лаборатории радиационного контроля ПГТУ в соответствии с [11–13] выполнялась пробоподготовка образцов и спектрометрические измерения на стационарной спектрометрической установке МКС-01 А «Мультирад-АБГ».

По результатам измерений рассчитывались поправочные коэффициенты для данных полевой спектрометрической съёмки, с помощью ГИС MapInfo строились карты радиоэкологических параметров (пространственного распределения

радионуклидов и мощности дозы по территории участков).

**Результаты исследований.** При крупномасштабной съёмке радиоактивного загрязнения методом наземной гамма-спектрометрии для оценки пространственного распределения радионуклидов необходим учёт распределения радионуклидов по глубине почвы [2, 7]. В ходе изучения характера распределения техногенных и природных радионуклидов в верхнем 20 см слое почвы установлено (табл. 2), что радионуклиды цезия-137 сосредоточены в поверхностном слое: на водоразделе в верхнем 5 см слое содержится 60–70 % (с учётом плотности почвы, из них половина – в подстилке, запас которой составляет 4,0–5,5 кг/м<sup>2</sup>), на пойменном участке – цезий имеет большее заглубление и 60–70 % его содержится в слое 0–10 см (причём доля подстилки незначительна как по активности, так и по массе – 0,4–0,5 кг/м<sup>2</sup>), что связано с быстрой минерализацией подстилки и более влажными условиями, повышающими интенсивность радиальной миграции элемента. На глубине более 20 см содержание цезия-137 с учётом неопределённости измерений не превышает 4 Бк/кг.

Таблица 2

Распределение радионуклидов в почве

Радиационный параметр	Значение параметра в почвенном слое				
	Подстилка	0-5 см (в т.ч. подстилка)	5-10 см	10-15 см	15-20 см
ППП 90-3-05					
Удельная активность Cs-137, Бк/кг	78,1±12,8	17,5±4,4	≤3,0	≤2,8	≤2,0
Удельная активность K-40, Бк/кг	≤21,1	≤16,7	≤16,8	26,2±21,7	38,3±23,9
Удельная активность Ra-226, Бк/кг	10,3±7,2	5,7±4,3	3,4±2,4	3,3±2,2	3,6±2,2
Удельная активность Th-232, Бк/кг	≤6,1	≤3,7	≤2,0	≤1,9	≤2,2
Суммарная бета-активность, Бк	1,35±0,28	0,60±0,20	0,28±0,17	0,32±0,17	0,32±0,17
ППП 90-3-05 (микроразнообразие)					
Удельная активность Cs-137, Бк/кг	60,4±12,1	36,7±8,0	2,8±1,9	3,0±1,7	≤3,1
Удельная активность K-40, Бк/кг	≤25,1	≤18,7	≤22,7	45,7±26,8	24,1±21,9
Удельная активность Ra-226, Бк/кг	≤5,3	10,0±6,5	4,6±2,8	2,8±2,3	3,2±2,3
Удельная активность Th-232, Бк/кг	≤8,7	≤9,0	≤2,7	2,7±2,3	4,5±2,3
Суммарная бета-активность, Бк	1,21±0,27	0,92±0,24	0,41±0,18	0,24±0,16	0,50±0,19
ППП 2-Л					
Удельная активность Cs-137, Бк/кг	15,5±6,3	28,3±7,9	24,3±5,9	8,3±2,9	≤4,0
Удельная активность K-40, Бк/кг	138,5±70,5	297,0±119,0	324,1±98,4	293,6±75,0	297,5±74,7
Удельная активность Ra-226, Бк/кг	≤10,1	17,5±8,7	17,5±6,5	12,7±4,5	25,4±5,8
Удельная активность Th-232, Бк/кг	≤8,1	26,4±9,9	29,0±7,8	26,8±5,9	33,0±6,5
Суммарная бета-активность, Бк	1,04±0,24	2,58±0,42	2,82±0,44	2,45±0,40	2,64±0,43

Содержание природных радионуклидов определяется минералогическим составом почвообразующих пород и почвообразовательными процессами: так, на песчаной почве они практически отсутствуют, лишь с глубиной отмечается незначительное накопление калия, что связано с подзолообразовательным процессом (вынос из верхнего горизонта в нижележащие), а на аллювиальной глинистой почве содержание калия, радия и тория на порядок выше и запас этих радионуклидов (с учётом плотности почвы) нарастает с глубиной (в верхней части почвы происходит «разбавление» органическим веществом концентрации «небиофильных» тяжёлых радионуклидов радия и тория, а также содержания калия, находящегося преимущественно в недоступной для растений форме).

Суммарная бета-активность показывает, что в песчаной почве основной вклад в бета-излучение вносит цезий подстилки. С глубиной при снижении его содержания бета-активность минимальна, в глинистой почве бета-активность существенно выше и определяется калием-40, а цезий компенсирует «нехватку» бета-излучения калия в слое 0–10 см, что в совокупности даёт равномерное распределение бета-активности по профилю пойменной почвы.

Относительно более высокий уровень загрязнения почвы пойменного участка цезием-137 связан, скорее всего, с его привносом паводковыми водами, а также

с более активным поглощением элементов минерального питания (в т.ч. и цезия) растительностью на песчаных автоморфных почвах. С процессом латерального привноса связано и увеличение уровня загрязнения в микропонижении первой пробной площади.

Для оценки среднего уровня загрязнения территории пробных площадей и неоднородности горизонтального распределения радионуклидов в поверхностном слое почвы проводилась пешеходная гамма-спектрометрическая съёмка. Для интерпретации данных съёмки необходимо применять поправочные коэффициенты, учитывающие характер перераспределения радионуклидов по почвенному профилю. Сопоставление результатов расчёта плотности загрязнения почвы по данным лабораторных и полевых спектрометрических измерений (соответственно с пробоотбором и без пробоотбора почвы) показало, что для условий загрязнения экосистем цезием-137 в результате глобальных выпадений существенен вклад «непочвенного» цезия, содержащегося в наземной фитомассе древесного и кустарникового ярусов, что приводит к значительному завышению результатов полевых измерений (табл. 3). Следует отметить, что повышение уровня загрязнения почвы, оценённого по данным лабораторных измерений, приводит к «сближению» результатов лабораторной и полевой оценки, т.е. к нивелированию влияния излучения от цезия древесного яруса.

Таблица 3

**Сопоставление результатов оценки плотности загрязнения почвы цезием-137 по данным лабораторных и полевых спектрометрических измерений**

Пробная площадь	Плотность загрязнения почвы цезием-137, кБк/м <sup>2</sup>		Поправочный коэффициент, Рлаб/Рскан
	Лабораторные измерения, Рлаб	Полевые измерения, Рскан	
ППП 90-3-05	0,84±0,45	2,48±1,10	0,34
ППП 90-3-05 (микропонижение)	1,12±0,47	2,20±1,06	0,51
ППП 2-Л	1,57±0,53	2,44±1,52	0,64

Результаты оценки неоднородности плотности загрязнения почвы цезием-137 (с учётом поправочных коэффициентов), удельной активности в поверхностном слое почвы природных радионуклидов и мощности эквивалентной дозы гамма-

излучения (МЭД) приведены в табл. 4 и на рис. 2 и 3.

Средние уровни загрязнения участков (х) цезием-137 составляют 0,8–1,0 кБк/м<sup>2</sup> (0,02–0,03 Ки/км<sup>2</sup>), что соответствует литературным данным [2].

Таблица 4

## Оценка неоднородности радиоэкологических показателей

Радиационный параметр	ППП 90-3-05 (N = 92)				ППП 2-Л (N = 113)			
	x	m <sub>x</sub>	s	V, %	x	m <sub>x</sub>	s	V, %
Плотность загрязнения Cs-137, кБк/м <sup>2</sup>	0,82	0,02	0,21	25,5	1,02	0,03	0,37	36,1
Удельная активность К-40, Бк/кг	51,1	1,2	11,8	23,1	290,6	5,1	61,0	21,0
Удельная активность Ra-226, Бк/кг	3,4	0,3	2,6	77,0	11,7	0,5	6,1	52,1
Удельная активность Th-232, Бк/кг	9,9	0,4	3,7	37,2	32,2	0,5	6,6	20,5
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, мкЗв/ч	0,010	0,0001	0,001	9,6	0,024	0,0001	0,002	7,3

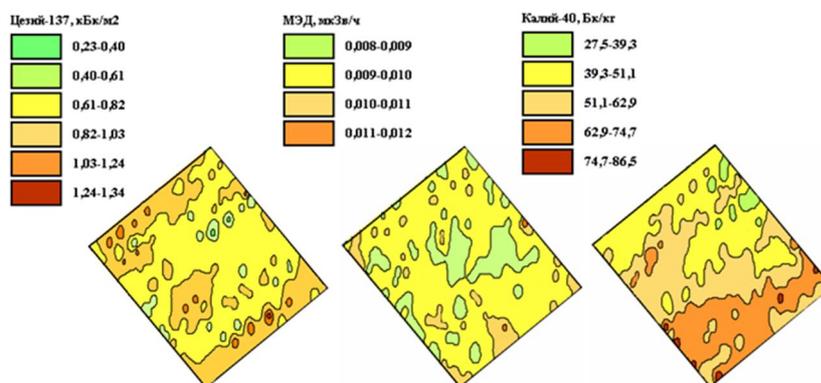


Рис. 2. Пространственное распределение плотности загрязнения почвы цезием-137, мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и удельной активности калия-40 на ППП 90-3-05

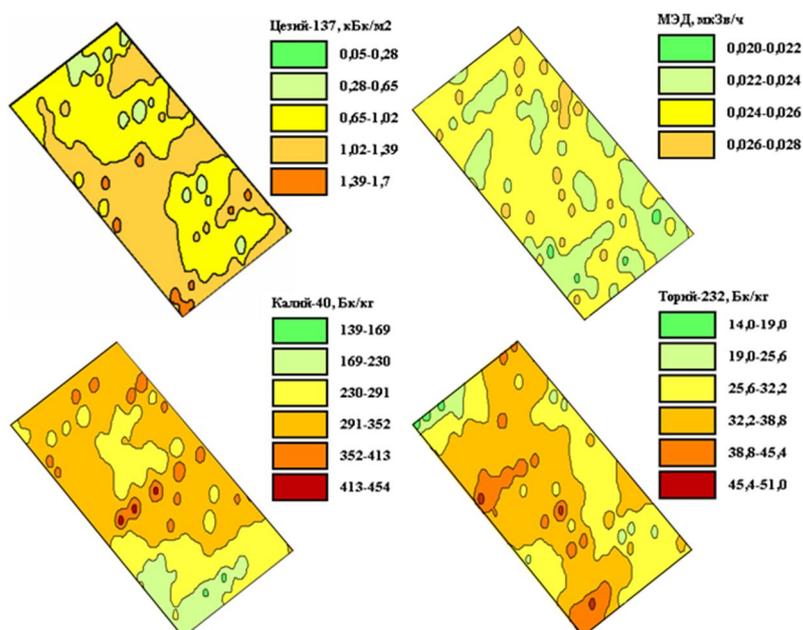


Рис. 3. Пространственное распределение плотности загрязнения почвы цезием-137, мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, удельной активности калия-40 и тория-232 на ППП 2-Л

Пространственное распределение цезия-137, калия-40 и мощности дозы носит нормальный характер, распределение тяжёлых природных радионуклидов – логнормально с преобладанием меньших значений, что согласуется с литературными данными [14].

По значению коэффициента вариации (V) содержание радионуклидов калия-40 в поверхностном слое почвы обеих пробных площадей можно считать однородным (V = 21–23 %), также однородны значения МЭД (V = 7–10 %), плотность загрязнения цезием-137 на пойменном участке – недостаточно однородна (V = 36 %) по сравнению с водоразделом (V = 25,5 %), что, скорее всего, связано с большим числом факторов, определяющих как горизонтальную, так и радиальную миграцию данного радионуклида. Неоднородность (большая вариация) тяжёлых природных радионуклидов, за исключением тория-232 на пойменном участке (V = 20 %), связана с их низким содержанием, близким к неопределённости измерения.

В целом, пойменный участок, как отмечалось ранее, отличается повышенным содержанием как техногенных, так и природных радионуклидов. В то же время локальные аномалии, удовлетворяющие критерию  $\pm 3s$ , отсутствуют [14].

Более высокое содержание калия в пойме приводит к повышению уровня МЭД на ППП 2-Л. Следует отметить, что при оценке мощности дозы гамма-излучения необходимо учитывать «нулевой» фон (собственный фон и отклик на космическое излучение) дозиметрического оборудования, который определяется над водной поверхностью при глубине воды не менее 5 м и расстоянии до берега не менее 50 м [6]. Так, для условий Республики Марий Эл значение «нулевого» фона для портативного спектрометрического комплекса МКС 01 А «Мультирадиогамма» составляет 0,004 мкЗв/ч.

Далее на пробных площадях проводилась оценка содержания радионуклидов в

растительном покрове. В методике [1] предусматривается отбор проб древесных растений (образцы древесины, луба, коры из комлевой, срединной и вершинной частей ствола, мелких веток, хвои (листьев), плодов (семян)) путём рубки модельных деревьев за границами стационарного участка, но в пределах выдела, где заложен стационарный участок. Это приводит к нарушению исследуемого биогеоценоза, а также не позволяет соотносить данные загрязнения почвы и содержание радионуклидов в древесных растениях, либо к необходимости дополнительного отбора проб почвы в площади питания каждого модельного дерева, а также к трудной сопоставимости данных разных лет наблюдения. В настоящее время при радиационном мониторинге в условиях минимального радиоактивного загрязнения нецелесообразен отбор проб древесины. Информативным элементом древостоя, характеризующим его радиоэкологическое состояние, является листва и хвоя, в которых может наблюдаться повышенное содержание цезия-137 даже при минимальном уровне загрязнения [8, 9].

Среди видов живого напочвенного покрова для целей радиоэкологического мониторинга в условиях минимального загрязнения почвы цезием-137 (до 5 Ки/км<sup>2</sup>) необходимо использовать биоиндикаторы по аккумуляции, виды-доминанты и хозяйственно ценные виды. Таким образом, для определения содержания радионуклидов в биологических объектах были исследованы следующие виды:

1) ППП 90-3-05: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), кладония оленья (*Cladonia rangiferina* L.), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt), брусника (*Vaccinium vitis idaea* L.); а также плодовые тела шляпочных грибов, встречающиеся в пределах выдела, где расположена площадь ППП 90-3-05: белый гриб (*Boletus edulis* Fr.), лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius* Fr.) – средненакапливающие виды – и горькушка (*Lactarius rufus* Fr.) – вид-аккумулятор [8, 9];

Таблица 5

## Результаты измерений компонентов фито- и микоценозов

Компонент	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				Суммарная бета-активность, Бк
	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	
ППП 90-3-05					
Хвоя сосны обыкновенной	36,9±13,1	≤31,2	≤3,9	≤5,3	0,44±0,12
Кладония оленья	34,9±23,0	≤41,7	≤8,9	≤4,7	0,71±0,15
Плевроциум Шребера	55,3±20,6	≤36,9	≤9,1	≤3,9	0,77±0,19
Листья брусники	69,1±33,5	≤58,2	≤5,6	≤4,7	0,83±0,16
Белый гриб	301,8±48,0	98,0±46,8	≤3,2	≤6,5	-
Лисичка	340,2±80,9	164,6±109,9	≤6,7	≤7,3	-
Горькушка	1695,0±184,0	62,0±28,9	5,1±2,1	≤6,5	-
ППП 2-Л					
Листья липы мелколистной	≤5,6	102,0±55,10	≤6,2	≤7,8	1,63±0,28
Листья дуба черешчатого	≤3,2	134,2±80,9	≤4,6	≤5,2	1,02±0,18
Будра плющевидная	≤5,7	119,1±85,9	≤5,1	≤9,3	3,34±0,42

2) ППП 2-Л: липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.).

Результаты спектрометрических измерений воздушно-сухих образцов приведены в табл. 5.

Спектрометрический анализ показал отсутствие в образцах растений и грибов тяжёлых природных радионуклидов радия и тория. В соответствии с содержанием в почве радиоактивный калий присутствует только в образцах ППП 2-Л. В растительности ППП 90-3-05, наоборот, зафиксирована значимая удельная активность цезия, что определяет относительно высокий уровень его содержания в лесной подстилке (см. табл. 2). Интенсивному поступлению цезия в растительность и накоплению его в подстилке способствует низкое содержание в песчаной почве элементов минерального питания (в т.ч. калия – биофильного химического аналога цезия), незначительная сорбционная способность почвы (низкое содержание гумуса и глинистых частиц) и медленная минерализация опада [15].

Максимальный уровень накопления техногенных радионуклидов отмечен в плодовых телах грибов, особенно в горькушках, что полностью согласуется с данными предыдущих исследований [4], т.е. в

условиях глобальных радиоактивных выпадений грибы являются основными индикаторами по аккумуляции присутствия цезия-137 в лесных экосистемах и играют значительную роль в биогеохимической миграции этого радионуклида [8, 15]. Несмотря на это, полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание техногенных радионуклидов не превышает допустимые санитарные нормы (2500 Бк/кг для сушёных грибов) [16].

**Выводы.** В ходе проведённой работы впервые на территории Республики Марий Эл заложены постоянные пробные площади для целей радиоэкологического мониторинга лесных экосистем в условиях радиоактивного загрязнения, формируемого глобальными выпадениями.

Результаты детальной спектрометрической съёмки участков позволяют сделать следующие выводы:

- в почве 60–70 % радионуклидов цезия-137 сосредоточено в верхнем 5–10 см слое;
- в сосновом фитоценозе значительная доля почвенного цезия содержится в подстилке;
- содержание природных радионуклидов радия, тория и калия в рассмотренных экосистемах определяется минералогическим составом почвообразующих пород: в песчаной почве они практически отсут-

ствуют, в аллювиальной глинистой почве содержание калия и тория в 3–6 раз выше;

- в целом уровень загрязнения почвы цезия-137 на обоих участках соответствует литературным данным, составляя в среднем 0,8–1,0 кБк/м<sup>2</sup>;

- пространственное распределение цезия-137 и калия-40 носит нормальный, как правило, однородный характер, распределение тяжёлых природных радионуклидов – логнормально с преобладанием меньших значений;

- пойменный участок, как отмечалось ранее, отличается повышенным содержанием как техногенных, так и природных радионуклидов, что связано с минералогическим и гранулометрическим составом почвенного покрова, интенсивностью процессов поверхностной (латеральной) и радиальной миграции радионуклидов;

- значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на участках составляют 0,01–0,02 мкЗв/ч, гамма-фон однороден и определяется в основном радионуклидами калия и цезия.

Спектрометрический анализ биологических объектов показал:

- в образцах растений и грибов от-

#### *Список литературы*

1. Методические указания по оценке радиационной обстановки в лесном фонде Российской Федерации на стационарных участках (для части территории, загрязненной радионуклидами при аварии на Чернобыльской АЭС). – М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1993. – 15 с.

2. Atlas of cesium deposition of Europe after the Chernobyl accident [Электронный ресурс]. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. – CD-ROM.

3. Ежегодный доклад о состоянии окружающей среды Республики Марий Эл за 2007 год / Министерство сельского хозяйства, продовольствия и природопользования Республики Марий Эл. – Йошкар-Ола: ООО «Реклайн», 2008. – 264 с.

4. Малуя, О.В. Содержание радионуклидов в природных объектах заповедника «Большая Кокшага» / О.В. Малуя, Д.Е. Конаков, Е.А. Гон-

сутствуют тяжёлые природные радионуклиды радия и тория;

- содержание радиоактивного калия в биологических образцах зависит от агрохимических свойств почв;

- значимое содержание цезия отмечено в растительности соснового биоценоза, что определяет накопление радионуклидов в лесной подстилке и существенный вклад в результаты полевых спектрометрических измерений;

- максимальный уровень накопления техногенных радионуклидов отмечен в плодовых телах грибов, особенно в горькушках, т.е. в условиях глобальных радиоактивных выпадений грибы являются основными «индикаторами по аккумуляции» присутствия цезия-137 в лесных экосистемах;

- содержание техногенных радионуклидов в биологических объектах не превышает допустимые санитарные нормы.

Таким образом, наиболее интенсивно техногенные радионуклиды цезия-137 вовлекаются в биологический круговорот в условиях соснового фитоценоза на песчаных почвах, что препятствует выносу радионуклидов за пределы данной экосистемы.

#### *References*

1. Metodicheskie ukazaniya po otsenke radiatsionnoy obstanovki v lesnom fonde Rossiyskoy Federatsii na statsionarnykh uchastkakh (dlya chasti territorii, zagryaznennoy radionuklidami pri avarii na Chernobylskoy AES) [Guidance on the Radiation Situation in the Forests of the Russian Federation on the Stationary Sites (for the Territory Contaminated with Radionuclides in the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant)]. Moscow: Federal Forestry Agency of the Russian Federation, 1993. 15 p.

2. Atlas of Cesium Deposition of Europe after the Chernobyl Accident. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. CD-ROM.

3. Ezhegodnyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy respubliky Mariy El za 2007 god [Annual Report on the State of Mari El Republic Environment in 2007]. Ministry of Agriculture, Food and Nature Management. Yoshkar-Ola, 2008. 264 p.

4. Malyuta O.V., Konakov D.E., Goncharov E.A. Soderzhanie radionuklidov v prirodnykh obektah zapovednika «Bolshaya Kokshaga» [The Content of

чаров // Проблемы экологии и природопользования в бассейнах рек Республики Марий Эл и сопредельных регионов. Сб. материалов межрегиональной научно-практической конф. – Йошкар-Ола: ООО «ПИК Принт-Ф», 2006. – С.97-101.

5. Гончаров, Е.А. К методике радиэкологического мониторинга лесных территорий в условиях радиоактивного загрязнения Cs-137 до 185 кБк/м<sup>2</sup> / Е.А. Гончаров // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции (Томск, 4–8 июня 2013 г.); Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 147-151.

6. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности. МУ 2.6.1.2398-08: утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 02.07.08 : введ. в действие с 02.09.08. – М., 2008. – 36 с.

7. Гончаров, Е.А. Применение портативных спектрометров для оценки плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs лесных территорий / Е.А.Гончаров, С.Г. Васьин, А.М.Татарников // Журнал «АНРИ». – 2012. – № 4. – С. 45-50.

8. Shcheglov, A.I. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems / A.I. Shcheglov, O.B. Tsvetnova, A.L. Klyashtorin. – М.: Nauka, 2001. – 235 p.

9. Переволоцкий, А.Н. Распределение <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в лесных биогеносах / А.Н. Переволоцкий. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 255 с.

10. Малюта, О.В. Радиэкологические исследования лесных экосистем Среднего Поволжья / О.В. Малюта, Д.Е. Конаков, Е.А. Гончаров // Лесной журнал. – 2010. – № 4. – С. 132-138.

Radionuclides in Natural Objects of the Reserve «Bolshaya Kokshaga». Problemy ekologii i prirodopolzovaniya v basseynakh rek Respubliki Mariy El i sopredelnykh regionov. Sb. materialov mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konf. [Problems of Ecology and Nature Management in River Basins of the Republic of Mari El and its Neighboring Regions. Proceedings of the Interregional Scientific and Practical Conference]. Yoshkar-Ola: ООО «ПИК Принт-Ф», 2006. P. 97-101.

5. Goncharov E.A. K metodike radioekologicheskogo monitoringa lesnykh territoriy v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya Cs-137 do 185 kBq/m<sup>2</sup> [To the Method of Radioecological Monitoring of Forest Areas in the Context of Radioactive Contamination of Cs-137 up to 185 kBq/m<sup>2</sup>]. Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka: materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii (Tomsk, 4–8 iyunya 2013, Tomskiy politekhnicheskii universitet [Radioactivity and Radioactive Elements in the Environment: Proceedings of the IV International Conference (Tomsk, June 4-8, 2013, Tomsk Polytechnic University)]. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2013. P. 147-151.

6. Radiatsionnyy kontrol i sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka zemelnykh uchastkov pod stroitelstvo zhilykh domov, zdaniy i sooruzheniy obshchestvennogo i proizvodstvennogo naznacheniya v chasti obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti [Radiation Monitoring and Sanitary-Epidemiological Evaluation of Land Plots for Construction of Houses, Buildings and Public Facilities and Production Facilities in Terms of Ensuring Radiation Safety]. MU 2.6.1.2398-08: utv. Federalnoy sluzhboy po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka 02.07.08 : vvod. v deystvie s 02.09.08. [Municipal Institution 2.6.1.2398-08: Approved by the Federal Service for Consumer Rights and Human Welfare Protection 02.07.08: effective from 02.09.08]. Moscow, 2008. 36 p.

7. Goncharov E.A., Vasin S.G., Tatarnikov A.M. Primenenie portativnykh spektrometrov dlya otsenki plotnosti zagryazneniya <sup>137</sup>Cs lesnykh territoriy [Use of Portable Spectrometers for Assessment of Contamination Level (Caesium-137) in Forests.] Zhurnal «ANRI». [Journal «ANRI»]. 2012. No 4. P. 45-50.

8. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. Biogeochemical Migration of Technogenic Radionuclides in Forest Ecosystems. Moscow: Nauka, 2001. 235 p.

9. Perevolotskiy A.N. Raspreделение <sup>137</sup>Cs i <sup>90</sup>Sr v lesnykh biogeotsenozakh [Distribution of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in Forest Ecosystems]. Gomel: Institute of Radiology, 2006. 255 p.

10. Maljuta O.V., Konakov D.E., Goncharov E.A. Radioekologicheskie issledovaniya lesnykh ekosistem Srednego Povolzhya [Radioecological Studies of Forest Ecosystems in the Middle Volga]. Lesnoy zhurnal [Forest Journal]. 2010. No 4. P. 132-138.

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

12. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». – Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2003. – 30 с.

13. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». – Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2004. – 24 с.

14. *Перельман, А.И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Издательство Московского государственного университета, 1999. – 610 с.

15. *Малюта, О.В.* Биоиндикация в условиях радиоактивного загрязнения / О. В. Малюта, Е. А. Гончаров // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – № 1. – С. 80-84

16. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю): утв. Решением Комиссии таможенного союза от 28.05.2010 № 299. URL: [http://tsouz.ru/KTS/KTS17/Pages/P2\\_299.aspx](http://tsouz.ru/KTS/KTS17/Pages/P2_299.aspx) (дата обращения: 03.08.2013).

11. Metodika vypolneniya gamma-spektrometricheskikh izmereniy aktivnosti radionuklidov v probakh pochvy i rastitelnykh materialov [Methodology for Gamma-Spectrometric Measurements of Radionuclide Activity in Soil and Plant Materials]. Moscow: Federal Forestry Agency, 1994. 16 p.

12. Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispolzovaniem stsintillyatsionnogo gamma-spektrometra s programmnyim obespecheniem «Progress» [Method of Measuring of Radionuclides Activity Using Scintillation Gamma Spectrometer with Software «Progress»]. Mendeleev: GNMTS «VNIIFTRI», 2003. 30 p.

13. Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispolzovaniem stsintillyatsionnogo beta-spektrometra s programmnyim obespecheniem «Progress» [Method of Measuring of Radionuclides Activity Using Scintillation Gamma Spectrometer with Software «Progress»]. Mendeleev: GNMTS «VNIIFTRI», 2004. 24 p.

14. *Perelman A.I., Kasimov N.S.* Geokhimiya landshafta [Geochemistry of Landscape]. Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1999. 610 p.

15. *Malyuta O. V., Goncharov E. A.* Bioindikatsiya v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya [Bioindication in Conditions of Radioactive Contamination]. Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie. [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2008. No 1, P. 80-84

16. Edinye sanitarno-epidemiologicheskie i higienicheskie trebovaniya k tovaram, podlezhashchim sanitarno-epidemiologicheskomu nadzoru (kontrolyu): utv. Resheniem Komissii tamozhennogo soyuza ot 28.05.2010 № 299 [Uniform Sanitary and Epidemiological and Hygienic Requirements for Goods Subject to Sanitary and Epidemiological Supervision (Control): approved by the Commission of the Customs Union of 28.05.2010 № 299]. URL: [http://tsouz.ru/KTS/KTS17/Pages/P2\\_299.aspx](http://tsouz.ru/KTS/KTS17/Pages/P2_299.aspx) (Reference date: 03.08.2013).

Статья поступила в редакцию 16.08.13.

*ГОНЧАРОВ Евгений Алексеевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией радиационного контроля, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор 53 публикаций.  
E-mail: [GoncharovEA@volgatech.net](mailto:GoncharovEA@volgatech.net)

*ПИГАЛИН Дмитрий Иванович* – магистрант факультета лесного хозяйства и экологии, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор двух публикаций.  
E-mail: [pigalin.dima@yandex.ru](mailto:pigalin.dima@yandex.ru)

*GONCHAROV Evgeny Alexeyevich* – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Radiation Survey, Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola, Russian Federation). Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of 53 publications.

E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

*PIGALIN Dmitry Ivanovich* – student in the Master's programme, Faculty of Forestry and Ecology, Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola, Russian Federation). Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of two publications.

E-mail: pigalin.dima@yandex.ru

*E. A. Goncharov, D. I. Pigalin*

**DISTRIBUTION OF ANTHROPOGENIC RADIONUCLIDES AND RADIONUCLIDES OF NATURAL ORIGIN IN FOREST ECOSYSTEMS OF «BOLSHAYA KOKSHAGA» RESERVE**

**Key words:** *space distribution; cesium-137; potassium-40; radium -226; thorium -232; radioecological monitoring; forest ecosystem;*

*Assessment results of radioactive nuclides (cesium-137; potassium-40; radium -226; thorium -232) distribution in horizontal and vertical forest ecosystems of «Bolshaya Kokshaga» natural reserve for the purpose of basic radioecological monitoring are offered. A detailed gamma - spectrometric survey and assessment of space distribution of anthropogenic radionuclides and radionuclides of natural origin, spectral measurements of tests of plants and mushrooms are carried out at the sampling plots (lichenous and sphagnous pine forest and nettle oak forest) for the first time.*

*It was determined that the level of soil contamination with cesium-137 is 0,8–1,0 kBq/m<sup>2</sup>; at that, 60–70 % of radionuclides are located in the top soil (5–10 cm). The content of natural radionuclides (radium, thorium and potassium) in the considered ecosystems is formed by mineral composition of soil material: there are practically no natural radionuclides in sandy soil but the content of potassium and thorium is 3-6 times higher in alluvial clayey soil. Space distribution of cesium-137 and potassium-40 is as a rule of normal and regular nature, distribution of heavy radionuclides of natural origin is lognormal. The power of equivalent dose of gamma radiation is 0,01–0,02 mSv/h.*

*A significant content of cesium-137 (30–60 Bq /kg) was found in vegetation and, consequently, in the underlay (60–70 Bq /kg) of pine community, heavy radionuclides of natural origin were not found in the community. Among all the components of the community, maximum level of accumulation of anthropogenic radionuclides was found in the kames (up to 1700 Bq /kg of dry weight).*