



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*182.59: 551.521

О.В. Малюта, Д.Е. Конаков, Е.А. Гончаров

Марийский государственный технический университет

Малюта Ольга Васильевна родилась в 1957 г., окончила в 1980 г. Кубанский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией биотестирования отходов и объектов окружающей среды ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Марийского государственного технического университета. Имеет 49 печатных работ в области экологического мониторинга и радиоэкологии.

E-mail: olgamal@list.ru



Конаков Дмитрий Евгеньевич родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Марийский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии Марийского государственного технического университета. Имеет 36 печатных работ в области химии и радиоэкологии.

E-mail: laker-k@yandex.ru



Гончаров Евгений Алексеевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Марийский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией радиационного контроля ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ. Имеет 30 печатных работ в области радиоэкологии.

E-mail: eagoncharov@mail.ru

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ***

Представлены результаты радиоэкологических исследований, проводимых лабораторией радиационного контроля МарГТУ на лесных территориях Среднего Поволжья, загрязненных техногенными радионуклидами. Раскрыты особенности накопления и перераспределения цезия-137 в компонентах лесных биогеоценозов. Предложены виды-биоиндикаторы радиационного загрязнения и новая минеральная добавка, снижающая поступление техногенных радионуклидов в лесные ресурсы.

Ключевые слова: радиоэкология, мониторинг, лес, биогеоценоз, цезий-137, биоиндикатор, реабилитация, мелиорант.

В Среднем Поволжье площадь лесных земель, загрязненных техногенными радионуклидами (Cs-137) свыше 1 Ки/км², по оценкам составляет около 200 тыс. га. Они расположены в основном на территориях Пензенской и Ульяновской областей и Республики Мордовия [4]. Данные террито-

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям.

рии относятся к зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом (плотность загрязнения почвы от 1 до 5 Ки/км²).

Большинство работ в области радиоэкологии леса относится к территориям с высокой плотностью загрязнения почвы. Однако не менее важной научной и практической задачей являются научные исследования на землях с минимальным загрязнением, в частности в Среднем Поволжье.

С 2001 г. лабораторией радиационного контроля Центра коллективного пользования Марийского государственного технического университета проводится радиоэкологический мониторинг лесных экосистем этого региона. Наличие современной приборной базы, а также привлечение специалистов различных областей знаний (лесное хозяйство, биология, химия, физика, природопользование, экология), позволяют выполнять комплексные исследования, используя значительный «арсенал» методов. На сегодняшний день совместно с региональными отделами радиологии ФГУ «Рослесозащиты» обследованы леса на территории Пензенской и Ульяновской областей, Мордовии: дана характеристика радиационной обстановки в лесных биогеоценозах и оценка качества лесных ресурсов; выполнены экологические и биоиндикационные исследования.

Так, например, показано, что максимальная концентрация Cs-137 в лесных почвах в настоящее время сохраняется в лесной подстилке и верхнем минеральном горизонте (табл. 1).

Несмотря на разнообразие почв, распределение Cs-137 по вертикальному профилю аналогично с явной тенденцией уменьшения концентрации с глубиной. В целом на миграцию радионуклидов существенно влияют гранулометрический состав, физико-химические свойства почвы, условия увлажнения, характер лесной подстилки и растительного опада. Перераспределение радионуклидов по почвенному профилю определяет интенсивность их поступления в лесную растительность.

Таблица 1

Вертикальная миграция Cs-137 в лесных почвах

Почва	Удельная активность Cs-137, Бк/кг, на глубине, см				
	0	0...10	10...20	20...30	30...40
Пензенская область					
Дерново-слабоподзолистая супесчаная	817,4	284,6	51,0	4,6	< 3,0
Серая лесная среднесуглинистая	454,4	218,5	15,4	< 3,0	< 3,0
Ульяновская область					
Дерново-слабоподзолистая супесчаная	1852,0	182,8	5,5	< 3,0	< 3,0
Дерновая легкосуглинистая	1258,0	287,4	61,9	13,2	< 3,0
Республика Мордовия					
Дерново-подзолистая супесчаная	159,4	11,2	5,2	< 3,0	< 3,0
Дерновая легкосуглинистая гидроморфная	428,1	28,5	18,0	10,6	4,3

Таблица 2

**Средние коэффициенты перехода Cs-137
в структурные элементы видов древесных растений**

Вид	Коэффициент перехода, 10^{-3} м ² /кг				
	Корка, перидерма	Луб	Древесина	Ветви	Листья, хвоя
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	3,47	0,81	0,41	1,64	1,92
Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)	3,16	1,17	0,79	1,85	1,89
Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	2,21	1,06	0,58	1,97	3,27
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Miller)	2,15	0,67	0,58	1,64	2,10
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	1,19	0,60	0,43	1,93	3,15
Сосна обыкновенная (<i>Pinus silvestris</i> L.)	0,95	0,59	0,27	1,10	1,00

Примечание. Коэффициент перехода (transfer factor Tf) – отношение удельной активности радионуклидов в биологическом объекте, Бк/кг, к плотности загрязнения почвы, кБк/м²; при коэффициенте перехода $5 \cdot 10^{-3}$ м²/кг содержание Cs-137 в объекте (на воздушно-сухую массу) примерно равно его содержанию в почве.

В лесных экосистемах Среднего Поволжья наибольшее количество радионуклидов накапливают дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.). У всех видов минимум отмечен в древесине, что объясняется значительной долей менее загрязненных доаварийных годовичных слоев и динамическим характером накопления Cs-137 (пик смещается в сторону молодых годовичных слоев). Максимум радионуклидов у сосны и мелколиственных пород содержится в активно растущих органах (листья и молодые ветви), у широколиственных – в коре (корке), что объясняется сравнительно низкими темпами самоочищения от первоначального внешнего загрязнения (табл. 2).

Содержание радионуклидов в древесине основных лесообразующих пород не превышает допустимых уровней (ДУ) даже при максимальном загрязнении данной зоны (5 Ки/км² или 185 кБк/м²) и делает возможным ее использование для производственных и хозяйственных целей (по СП 2.6.1.759-99 ДУ для древесины, используемой в жилом строительстве, составляет 370 Бк/кг).

Накопление техногенных радионуклидов в живом напочвенном покрове лесных экосистем варьирует в широких пределах, но в хозяйственно полезных и лекарственных растениях их количество, как правило, не превышает допустимых уровней. Исключение составляют некоторые виды мхов (кукушкин лен *Polytrichum commune* Hedw., дикранум метловидный *Dicranum scoparium* Hedw., мхи рода сфагнум *Sphagnum* sp. L.), папоротников

(щитовник мужской *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott. и орляк обыкновенный *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.) и покрытосеменных растений (черника *Vaccinium myrtillus* L., брусника *V. vitis-idaea* L., костяника *Rubus saxatilis* L., ландыш майский *Convallaria majalis* L., багульник болотный *Ledum palustre* L., чистотел большой *Chelidonium majus* L.), приуроченных к переувлажненным и бедным эдафотопам.

Особым компонентом лесного биоценоза, представляющим потенциальную опасность для населения, являются грибы. По накопительной способности Cs-137 они в среднем в 20 раз превосходят максимально загрязненный слой лесной подстилки и почти в 1000 раз – древесину [6]. Так, на загрязненных территориях Республики Мордовии и Пензенской области ДУ значительного числа воздушно-сухих проб грибов (белый *Boletus edulis* Fr., горькушка *Lactarius rufus* Fr., рыжик *L. deliciosus* S.F. Gray, сыроежки *Russula* sp. Fr., масленок *Suillus luteus* Fr.) превышали нормативы в 3–9 раз (по СанПиН 2.3.2.1078-01 ДУ Cs-137 в сухих грибах составляет 2500 Бк/кг) [5]. Основными факторами, определяющими накопление радионуклидов, являются видовая принадлежность грибов (тип питания и распределение мицелия в почвенных горизонтах), крайняя неравномерность загрязнения почвы, почвенные условия и влажность сезона.

Проведенные исследования позволили оценить биоиндикационную ценность видов живого напочвенного покрова и составить таблицу видов-биоиндикаторов (по аккумуляции) для различных типов лесорастительных условий (табл. 3), контроль за которыми целесообразно осуществлять при радиационном мониторинге лесных территорий [3].

На территориях, загрязненных радионуклидами, для получения экологически чистой и радиационно безопасной продукции пчеловодства целесообразно использовать растения-медоносы, отличающиеся незначительным накоплением радиоактивных веществ. В целях определения растений, дискриминирующих техногенные радионуклиды, были отобраны виды, распространенные в районах пасек и традиционные для обследованных территорий. Наиболее «чистыми» медоносами оказались донник желтый (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) и эспарцет посевной (*Onobrychis viciaefolia* Scop.), самым накапливающим – синяк обыкновенный (*Echium vulgare* L.).

Результаты радиоэкологических исследований, а также производственный опыт показали, что после включения основных дозообразующих радионуклидов (Cs-137) в биологический круговорот веществ радиационная обстановка на загрязненных территориях изменяется очень медленно. Самоочищение лесов происходит практически только за счет радиоактивного распада. Этот процесс длится многие годы, в течение которых лесной фонд будет представлять территорию радиационной опасности [2, 4]. Однако, применяя комплекс реабилитационных мер, экологическую ситуацию на данных территориях можно улучшить, например, используя почвенные мелиоранты, способные снижать миграцию радионуклидов в системе почва – растение.

Таблица 3

**Виды-индикаторы радиационного загрязнения
для различных типов лесорастительных условий**

Тип лесорастительных условий	Вид-индикатор	Коэффициент перехода, $10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$
А ₂	Дикран волнистый (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	12,5
	Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i> L.)	22,5
	Щитовник мужской (<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott.)	62,1
В ₂	Кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	25,5
	Щитовник мужской	31,6
	Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i> L.)	35,8
	Масленок обыкновенный (<i>Suillus luteus</i> Fr.)	538,3
В ₄	Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	81,7
	Кукушкин лен	100,8
	Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.)	209,7
	Горькушка (<i>Lactarius rufus</i> Fr.)	950,7
С ₃	Щитовник мужской	32,1
	Кукушкин лен	50,2
D ₂	Копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i> L.)	2,4
	Масленок обыкновенный	12,1
D ₅	Щитовник мужской	6,2
	Страусник обыкновенный (<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod.)	13,3

Исследовательской группой лаборатории радиационного контроля МарГТУ была испытана в лабораторных и полевых условиях минеральная добавка на основе берлинской лазури и хлорида калия. Новый почвенный мелиорант снижает интенсивность миграции Cs-137 на всех исследованных типах почв (табл. 4). К тому же он оказался в 2-3 раза эффективнее традиционно применяемых калийно-фосфорных удобрений и не оказывает угнетающего действия на рост растений и биологическую активность почвы [1].

В настоящее время ведутся исследования сорбционных свойств композиций, полученных на основе компостирования отходов переработки древесины (действующие вещества – лигнин и целлюлоза) и пищевой промышленности (действующие вещества – хитозаны и пектины).

Таблица 4

**Влияние минеральных добавок на накопление Cs-137
тестируемыми растениями (горох *Pisum sativum* L., сорт Немчиновский,
и овес *Avena sativa* L., сорт Московский)**

Минеральная добавка	Содержание Cs-137, % от контроля					
	Светло-серая лесная легко- суглинистая почва		Дерново- карбонатная среднесугли- нистая почва		Дерново- подзолистая супесчаная почва	
	Горох	Овес	Горох	Овес	Горох	Овес
KCl (250 кг/га) + суперфосфат (250 кг/га)	76,9	21,8	19,5	71,4	86,1	82,6
KCl (500 кг/га) + Na ₂ SiO ₃ (250 кг/га)	22,7	68,1	15,3	116,3	49,7	59,6
KCl (500 кг/га) + Na ₂ SiO ₃ (250 кг/га) + суперфосфат (500 кг/га)	135,4	28,6	33,3	90,6	91,3	134,5
KCl (500 кг/га) + берлинская лазурь (120 кг/га)	103,8	25,3	25,3	114,1	70,5	96,0
KCl (500 кг/га) + берлинская лазурь (380 кг/га)	2,4	7,8	12,6	3,7	27,6	7,9
берлинская лазурь (120 кг/га) + Na ₂ SiO ₃ (250 кг/га)	5,6	28,6	26,4	70,9	86,1	80,9
берлинская лазурь (120 кг/га)	24,3	71,8	20,9	67,7	122,5	145,3
НСП ₀₅	39,6	23,5	19,4	22,5	23,1	47,4

Таким образом, научные исследования лесных экосистем Среднего Поволжья вносят свой вклад в решение задачи о накоплении и перераспределении радионуклидов на территориях с минимальным загрязнением, а также их реабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конаков Д.Е., Малюта О.В., Романов Е.М. К вопросу о влиянии минеральных добавок на подвижность техногенных радионуклидов в системе «почва – растение» // Проблемы радиоэкологии леса. Лес. Человек. Чернобыль: сб. тр. ИЛ НАН Беларуси. – 2004. – Вып. 61. – С. 55–58.
2. Криволицкий Д.А. Проблемы устойчивого развития и экологическая индикация земель радиоактивного загрязнения // Экология. – 2000. – № 4. – С. 257–262.
3. Малюта О.В., Гончаров Е.А. Биоиндикация в условиях радиоактивного загрязнения // Вестн. МарГТУ. – 2008. – № 1. – С. 80–84.
4. Марадудин И.И., Панфилов А.В., Шубин В.А. Основы прикладной радиоэкологии леса. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 224 с.
5. Оценка качества ресурсов лесопользования на радиационно-загрязненных территориях / Е.М. Романов [и др.] // Лесн. хоз-во. – 2006. – № 4. – С. 28–30.
6. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. – М.: Наука, 1999. – 268 с.

Поступила 24.08.09

O.V. Malyuta, D.E. Konakov, E.A. Goncharov
Mari State Technical University

Radioecological Studies of Forest Ecosystems in Middle Povolzhje

The data of radioecological studies are provided carried out by the laboratory of radiation control of MarSTU on the forest territories of the Middle Povolzhje polluted by anthropogenic radionuclides . The peculiarities of cesium-137 accumulation and redistribution in the forest biogeocenosis components are revealed. The species-bioindicators of radiation pollution and new mineral additive reducing the inflow of anthropogenic radionuclides to forest resources are offered.

Keywords: radioecology, monitoring, forest, biocenosis, cesium-137, bioindicator, rehabilitation, meliorant.
