

УДК 504.5:502.175

О. В. Малюта, Е. А. Гончаров

## БИОИНДИКАЦИЯ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Выявлена группа растений-биоиндикаторов радиационного загрязнения для различных типов лесорастительных условий на территории «чернобыльского следа» в Среднем Поволжье.*

**Введение.** В решении проблемы своевременного обнаружения нарушений в природе, вызванных антропогенными факторами, в последнее время большое значение отводится биологическим методам контроля и оценки состояния окружающей среды, одним из которых является биоиндикация.

Биоиндикация – это обнаружение и определение биологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. При биоиндикации используют два вида организмов-индикаторов: *регистрирующие*, которые реагируют на изменения состояния окружающей среды изменением численности, морфологическими изменениями, повреждением тканей, изменением скорости роста, и *накапливающие* биоиндикаторы, концентрирующие загрязняющие вещества в своих тканях [1].

Биоиндикация как метод радиоэкологического мониторинга среды является одним из способов диагностики лесных территорий, позволяющих дать объективную оценку степени загрязнения природных экосистем техногенными радионуклидами. Но для целей радиоэкологического мониторинга в условиях слабого загрязнения почвы Cs-137 (1-5 Ки/км<sup>2</sup>) возможно использовать только накапливающие биоиндикаторы, поскольку видимых изменений в экосистемах обычно не наблюдается (за исключением случаев радиостимуляции).

Для оценки биоиндикаторной ценности различных видов живого напочвенного покрова (ЖНП) исследования проводились на территории Поволжского «чернобыльского следа» в течение 2004–2006 гг. (рис.1).

Поволжский «чернобыльский след» – это зона минимального загрязнения радионуклидами (зона проживания с льготным социально-экономическим статусом). Плотность загрязнения почвы здесь составляет от 1 до 5 Ки/км<sup>2</sup>.

В Среднем Поволжье площадь радиационно загрязненных лесных земель составляет 219,1 тыс. га, которые расположены в основном на территориях Ульяновской и Пензенской областей, а также Республики Мордовия (табл. 1).

Таблица 1

**Площадь земель лесного фонда, загрязненных радионуклидами, на территории Среднего Поволжья**

Плотность загрязнения почвы Cs-137, Ки/км <sup>2</sup>	Площадь загрязнения лесного фонда, тыс. га			Всего
	Ульяновская область	Республика Мордовия	Пензенская область	
1–5	69,4	1,3	148,4	219,1
5–15	-	-	-	-

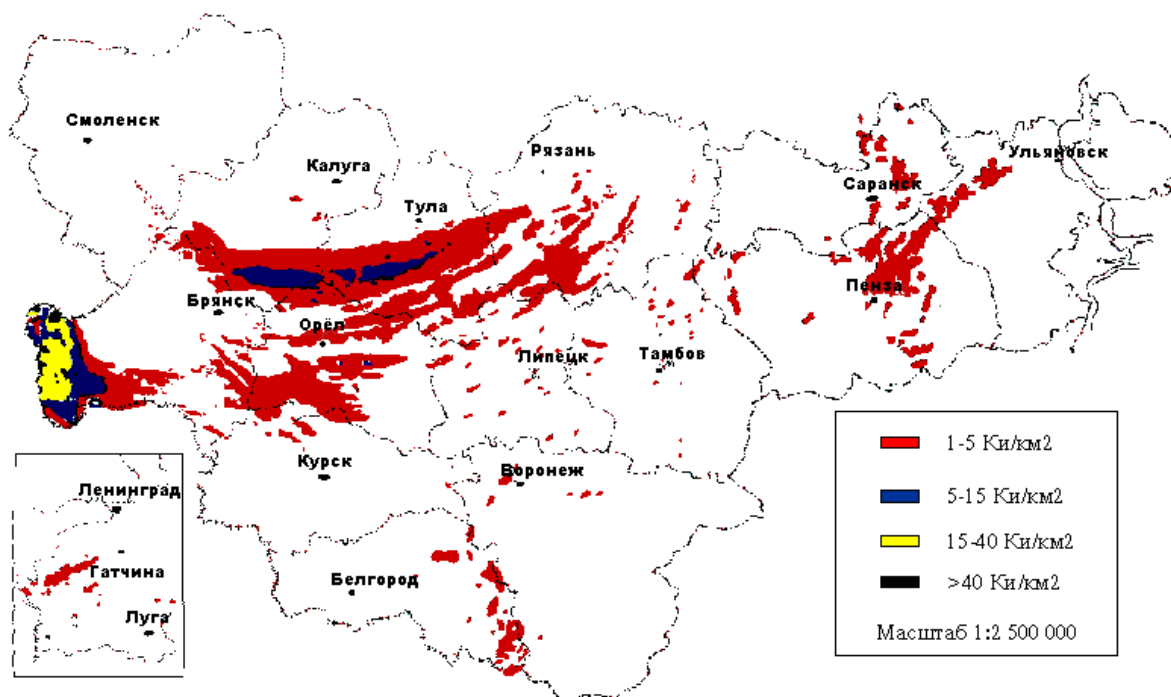


Рис. 1. Карта плотности загрязнения Cs-137 территории европейской части России [2]

К сожалению, данные территории обделены вниманием радиоэкологов. Большое количество работ посвящено исследованиям на территориях с высокой плотностью загрязнения почвы Cs-137, а в Среднем Поволжье серьезных работ в данном направлении не проводилось [3].

В литературе имеется немало данных об индикационном значении грибов, папоротников, мхов для диагностики радиоактивного загрязнения [4, 5]. Однако, если грибы практически всегда накапливают большое количество радионуклидов, то об остальных видах этого сказать нельзя. К тому же, указанные виды не всегда присутствуют на пробных площадях, поэтому была предпринята попытка сравнить биоиндикационную ценность ряда видов растений, не применяемых для этих целей прежде.

Практика радиоэкологического мониторинга лесных экосистем показывает целесообразность выделения видов-биоиндикаторов в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ), что позволяет менее трудоемко и более адекватно оценивать качество лесной продукции.

**Цель работы:** определить биоиндикаторную ценность видов ЖНП в различных типах лесорастительных условий на территории Среднего Поволжья, загрязненной радионуклидами.

**Объект исследования.** Исследования проводились в зараженных кварталах Чаадаевского, Лунинского и Ахунского лесхозов (Пензенская обл.), Инзенского и Майнского лесхозов (Ульяновская обл.), Березниковского, Чамзинского лесхозов и национального парка «Смольный» (Республика Мордовия).

**Методика исследования.** Гамма-спектрометрический анализ отобранных растительных и почвенных образцов проводился на универсальном спектрометрическом комплексе УСК «Гамма плюс» в аккредитованной лаборатории радиационного контроля (МарГТУ).

Для получения сопоставимых результатов в оценке радионакопительной способности видов живого напочвенного покрова и устранения влияния неоднородности плотности загрязнения почвы Cs-137 рассчитывался коэффициент перехода КП (transfer factor Tf) [6]:

$$КП = \frac{A_{\text{раст.}}}{P} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{раст}}$  – удельная активность радионуклидов в растении, Бк/кг,  
 $P$  – плотность загрязнения почвы, кБк/м<sup>2</sup>.

Данный коэффициент применяется при характеристике накопительной способности растений лесных экосистем (с ненарушенным почвенным покровом).

При отнесении вида к той или иной группе накопления использовалась классификация химических элементов по аккумуляции растениями [7], в основе которой лежит коэффициент накопления (КН), применяемый, как правило, для агроценозов (с однородным пахотным почвенным горизонтом). Принимая во внимание, что КН отражает отношение удельной активности радионуклида в растении к его удельной активности в почве и является безразмерной величиной, то между КН и КП можно вывести следующее соотношение:

$$КП = КН \cdot 10^3 \cdot (\rho_{\text{сл}} \cdot h)^{-1}, \quad (2)$$

где  $10^3$  – коэффициент перевода кБк в Бк;

$\rho_{\text{сл}}$  – плотность сложения верхнего слоя почвы, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – толщина слоя – глубина отбора почвы при определении плотности загрязнения, м.

При глубине отбора почвы ( $h$ ) 0,2 м и средней плотности сложения верхнего горизонта лесных почв ( $\rho_{\text{сл}} \approx 1000 \text{ кг/м}^3$ ) выражение (2) приобретает вид:

$$КП = 5 \cdot КН. \quad (3)$$

Таким образом, единица КП численно равна 5 единицам КН, отсюда следует, что при  $КП = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$  содержание Cs-137 в растении (на воздушно-сухую массу) примерно равно его содержанию в почве. На этом основании исследованные виды ЖНП по накопительной способности были разделены на следующие группы:

- 1) сильные дискриминаторы ( $КП < 0,05$ );
- 2) слабые дискриминаторы ( $КП = 0,05-0,5$ );
- 3) неаккумулирующие виды ( $КП = 0,5-5$ );
- 4) слабонакапливающие виды ( $КП = 5-50$ );
- 5) сильнонакапливающие виды – аккумуляторы ( $КП > 50$ ).

**Результаты.** Коэффициент перехода был рассчитан для 23 видов цветковых растений (отбирались растения-доминанты, субдоминанты, а также имеющие лекарственное и пищевое значение), 12 видов споровых растений и 8 видов грибов в различных типах лесорастительных условий. Число проб растительных образцов, отобранных в различных (в каждом) ТЛУ, варьировало от 2 до 6.

Анализ полученных данных показал, что в условиях  $A_2$  достаточно высоким коэффициентом перехода (КП) Cs-137 обладают мхи: кукушкин лен – *Polytrichum commune* (Hedw), дикран волнистый – *Dicranum polysetum* (Sw); из цветковых растений – ландыш майский – *Convallaria majalis* (L). Аккумулятором радиоцезия является щитовник мужской – *Dryopteris filix mas* (L., Schott.) (табл.2).

В условиях  $B_2$  индикаторными видами, кроме грибов (белый гриб – *Boletus edulis* (Fr.), масленок – *Suillus luteus* (Fr.), рыжик сосновый – *Lactarius deliciosus* (S.F. Gray), лисички – *Cantharellus cibarius* (Fr.), можно считать чистотел большой – *Chelidonium*

*majus* (L.), багульник болотный – *Ledum palustre* (L.), плаун булавовидный – *Lycopodium clavatum* (L.) и боровые мхи (дикран волнистый, плевроций Шребера – *Pleurozium sche-reberi* (Brid. Mitt.).

В условиях влажной субори (**В<sub>3</sub>**) к накопителям радионуклидов, помимо сыроежек – *Russula sp.* (Fr.), можно отнести щитовник мужской.

В условиях **В<sub>4</sub>** высоким коэффициентом перехода обладают все отобранные виды. Однако сильное накопление отмечается у мхов (сфагнум – *Sphagnum sp.* (L.), кукушкин лен, дикран метловидный – *Dicranum scoparium* (Hedw.), черники – *Vaccinium myrtillus* (L.) (как в надземной части кустарничка, так и в ягодах), орляка обыкновенного – *Pteridium aquilinum* (L. Kuhn) и, особенно, в сыроежках зеленых – *Russula aeruginea* (Lindbl. in. Fr.) и горькушке – *Lactarius rufus* (Fr.).

В условиях **С<sub>1</sub>** растений-аккумуляторов не обнаружено, а к слабым накопителям можно отнести мох плевроций Шребера.

В условиях **С<sub>2</sub>**, **С<sub>4</sub>** и **С<sub>5</sub>** ни одно из отобранных растений не имело КП > 5 · 10<sup>-3</sup> м<sup>2</sup>/кг, наиболее пригодными для целей биоиндикации являются в **С<sub>2</sub>** – чистотел большой, в **С<sub>4</sub>** и **С<sub>5</sub>** – щитовник мужской.

Таблица 2

Виды-индикаторы радиационного загрязнения для различных типов лесорастительных условий

ТЛУ	Вид-индикатор	КП, 10 <sup>-3</sup> м <sup>2</sup> /кг	ТЛУ	Вид-индикатор	КП, 10 <sup>-3</sup> м <sup>2</sup> /кг	
<b>А<sub>2</sub></b>	Дикран волнистый	12,49	<b>В<sub>3</sub></b>	Щитовник мужской	18,5	
	Ландыш майский	22,48		<b>В<sub>4</sub></b>	Брусника	49,12
	Щитовник мужской	62,07			Сфагнум sp.	71,89
	Кукушкин лен	23,6			Черника	81,69
<b>В<sub>2</sub></b>	Дикран волнистый	14,60	<b>С<sub>1</sub></b>		Кукушкин лен	100,81
	Багульник болотный	15,03		<b>С<sub>2</sub></b>	Костяника	30,61
	Плевроций Шребера	15,45			Ландыш майский	37,43
	Лисичка	20,63			Плевроций Шребера	13,2
	Кукушкин лен	25,47	<b>С<sub>3</sub></b>	Чистотел большой	2,63	
	Щитовник мужской	31,56		Черника	3,36	
	Сыроежка sp.	34,13		Брусника	3,76	
	Плаун булавовидн.	34,67		Щитовник мужской	32,12	
	Чистотел большой	35,85		Кукушкин лен	50,18	
	Подберезовик	46,38		<b>С<sub>4</sub></b>	Щитовник мужской	3,72
	Белый гриб	312,37		<b>С<sub>5</sub></b>	Щитовник мужской	3,00
	Масленок	538,25		<b>Д<sub>2</sub></b>	Масленок	12,09
	Рыжик сосновый	880,49			<b>Д<sub>5</sub></b>	Щитовник мужской
<b>В<sub>3</sub></b>	Сыроежка sp.	19,03	Страусник обыкн.	13,33		

Для условий **С<sub>3</sub>** хорошим биоиндикатором радиационного загрязнения оказался мох кукушкин лен, а также щитовник мужской, дополнительно можно рекомендовать бруснику – *Vaccinium vitis-idaea* (L.) и чернику.

В свежей дубраве (**Д<sub>2</sub>**) слабое накопление отмечено только в маслятах, из покрытосеменных растений самое высокое содержание отмечено у копытня европейского – *Asarum europaeum* (L.), но в качестве биоиндикатора его рекомендовать нельзя (КП=2,37).

В ТЛУ **Д<sub>5</sub>** в качестве биоиндикатора можно использовать папоротники – щитовник мужской и страусник обыкновенный – *Matteuccia struthiopteris* (L. Tod.), но КП у этих

растений недостаточно высок, поэтому для данных условий поиск индикаторов следует продолжить.

Таким образом, проведенные исследования позволили расширить группу индикаторных растений и выделить из них виды, пригодные для индикации радиационного загрязнения в некоторых типах лесорастительных условий.

#### **Выводы.**

1. В условиях Среднего Поволжья для ряда ТЛУ выявлены виды живого напочвенного покрова, имеющие высокую биоиндикационную ценность.

2. Данные виды-биоиндикаторы целесообразно использовать для целей радиоэкологического мониторинга.

#### *Список литературы*

1. *Тарбаева, В. М.* Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / В. М. Тарбаева. – Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского университета, 2002. – 148 с.
2. 10 лет Чернобыльской катастрофы. Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России. Российский национальный доклад. – М., 1996.
3. *Малюта, О. В.* Радиоэкологический мониторинг лесных экосистем Среднего Поволжья / О. В. Малюта, Е. М. Романов // Материалы междунаро. конференции «Кадровое и научное сопровождение устойчивого управления лесами: состояние и перспективы». – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – С. 390–397.
4. *Марадудин, И. И.* Основы прикладной радиоэкологии леса / И. И. Марадудин, А. В. Панфилов, В. А. Шубин. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 224 с.
5. *Щеглов, А. И.* Биогеохимия техногенных радионуклидов / А.И. Щеглов. – М., 1999. – 242 с.
6. *Лурье, А. А.* Вопросы прикладной радиоэкологии лесных экосистем в постчернобыльскую эпоху / А. А. Лурье. – М.: МСХА, 2000. – 20 с.
7. *Сельскохозяйственная радиоэкология* / Р. М. Алексахин, А. В. Васильев, В. Г. Дикарев и др.: под ред. Алексахина Р. М., Корнеева Н. А. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

Статья поступила в редакцию 19.11.07.

*O. V. Malyuta, E. A. Goncharov*

#### **BIOINDICATION IN CONDITIONS OF RADIOACTIVE POLLUTION**

*The research in the area of Chernobyl trace in Sredneye Povolzhye gave the opportunity to broaden the group of plants applicable for bioindicating of radioactive pollution in some types of forest conditions.*

---

*МАЛЮТА Ольга Васильевна* – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, мониторинг окружающей среды. Автор 49 публикаций.

*ГОНЧАРОВ Евгений Алексеевич* – начальник регионального информационно-аналитического центра сбора, обработки и передачи информации системы учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (РИАЦ). Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, мониторинг окружающей среды. Автор 29 публикаций.