

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

БИОИНДИКАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО ФОНА

Д.А. Маркелов

ГУП МосНПО «Радон»

7-й Ростовский пер., 2/14, Москва, Россия, 119121

Биоиндикация на основе накопительной способности индикаторов базируется на способности некоторых видов сорбировать загрязняющие вещества, в том числе радионуклиды, в концентрациях, превышающих их содержание в других природных средах. В качестве индикаторов используются виды активных накопителей радионуклидов, типичные для данной территории, доминирующие в растительных сообществах. Адаптация систем биоиндикации к различным зонально-ландшафтным условиям основана на поиске информативных видов индикаторов для каждой зоны, установлении оптимальных сроков наблюдений и выработке оптимальной схемы биоиндикации. Адаптация системы проведена на профиле по градиенту ландшафтно-зональных факторов по материалам многолетних исследований авторов. С севера на юг профиль представили следующие тестовые территории: Беломорская биологическая станция (ББС), Мещера, Биостанция Малинки, Богдинско-Баскунчакский природный заповедник, биостанция Малый Утриш. Определена накопительная способность растений разных жизненных форм по отношению к радионуклидам.

Результаты представляют интерес для широкого круга специалистов в области охраны окружающей среды, экологического мониторинга, экологической безопасности; инженерных и специальных служб, осуществляющих экологический контроль вредных производств, могут служить методическим руководством для обучения и подготовки студентов и персонала.

Зональный профиль.

Биоиндикация на основе накопительной способности индикаторов базируется на возможности некоторых видов сорбировать загрязняющие вещества, в том числе радионуклиды, в концентрациях, превышающих их содержание в других природных средах. В качестве индикаторов используются виды — активные накопители радионуклидов, типичные для данной территории, доминирующие в растительных сообществах или встречающиеся с достаточным обилием. Например, надежным индикатором для зоны хвойно-широколиственных лесов среди видов древесного яруса является ель: суммарная β -активность хвои в санитарно-защитной зоне — до 1000 Бк/кг абсолютно сухой массы; ветвей — около 600 Бк/кг, среди видов кустарникового яруса — лещина (средняя суммарная α -активность до 60 Бк/кг сухой массы, суммарная β -активность — 800 Бк/кг); среди видов травяного яруса — зеленчук (суммарная β -активность 1500—2000 Бк/кг сухой массы); для степной и лесостепной зоны — полынь и ковыль. Оптимальными биотестами являются сфагновые мхи для наземных экосистем и макрофиты — для водных.

Адаптация систем биоиндикации к различным зонально-ландшафтным условиям основана на поиске информативных видов индикаторов для каждой зоны, установлении оптимальных сроков наблюдений и выработке оптимальной схемы биоиндикации. Адаптация системы проведена на профиле по градиенту ландшафтно-зональных факторов по материалам многолетних исследований автора. С севера на юг этот профиль представили следующие тестовые территории: Беломорская биологическая станция (ББС), Мещера, Биостанция Малинки, Богдинско-Баскунчакский природный заповедник, биостанция Малый Утриш. Определена накопительная способность растений разных жизненных форм по отношению к радионуклидам.

Краткая физико-географическая характеристика тестовых территорий.

Беломорская биологическая станция (ББС) расположена на Карельском побережье Белого моря, на полуострове Киндо, который представляет собой узкую полосу суши, отделяющую Кислую губу от пролива Великая Салма. Длина полуострова 6 км, ширина 2—2,5 км, простирается с запада на восток. Большую часть полуострова занимает массив Ругозерский (абс. высота до 105 м), в основании полуострова расположен низменный участок (абс. высота 15—17 м), занятый системой Ершовских озер. Исследуемый район находится в субполярном климате. Средние температуры января -10 — -12 °С, средние температуры июля $+10$ °С, годовое количество осадков 670 мм. Здесь формируются поверхностные железистые и гумусово-железистые подзолы, на заболоченных территориях — торфяно-подзолистые почвы с торфяным горизонтом до 20—50 см, на болотах — торфяно-болотные, а на лугах — торфянисто-подзолистые почвы [6]. Леса данной территории представлены преимущественно сосняками, в меньшей степени — березняками и ельниками. На выходах коренных пород произрастают сосняки лишайниковые, скальные; кустарничково-зеленомошные сосняки встречаются на хорошо дренированных склонах; кустарничково-сфагновые сосняки располагаются на окраинах болот. Еловые леса произрастают на более мощных и богатых супесчаных отложениях, обычно на морских террасах, иногда по окраинам болот и вокруг озер. Первичные березняки характерны для морских побережий и островов, вторичные — на гарях и вырубках. На данной территории встречаются все типы болот. Они формируются в межрядовых понижениях, по берегам озер, в ряде случаев — на пологих склонах гряд [1].

Национальный парк «Мещера» расположен во Владимирской области на Окско-Клязьминском междуречье. Климат района умеренно континентальный, характеризующийся умеренно холодной зимой, теплым летом и достаточным и устойчивым увлажнением. Средняя температура января -11 °С, средняя температура июля $+18$ °С, среднегодовая сумма осадков 550 мм. Почвы района представлены несколькими типами: подзолистыми и дерново-подзолистыми, бурыми и серыми лесными, болотными и переходными к болотным, пойменными и дерновыми луговыми. Особенности почв территории является преобладание грунтов легкого механического состава (песков и супесей) и сильно развитыми процессами заболачивания, связанными с близким залеганием водоупорных горизонтов. Растительность района представлена хвойными, широколиственными, мелколиственными

ными лесами, лугами, болотами. Хвойные леса образованы сосной (*Pinus sylvestris*) и елью (*Picea abies*). Сосновые леса — наиболее распространенная растительная формация в этом районе, сосняки приурочены как к крайне сухим, так и к избыточно увлажненным местам. Ельники распространены на междуречных участках с нормальным увлажнением и в пределах древних речных долин. Широколиственные леса образованы дубом (*Quercus robur*), липой (*Tilia cordata*) и отчасти кленом (*Acer platanoides*). Широколиственные леса встречаются на водоразделах (как климаксовые сообщества), а также занимают террасы, склоны и долины древних рек, склоны коренных берегов современных рек, оврагов, а также поймы. Мелколиственные леса практически все вторичны, за исключением сообществ черной ольхи и белой березы, формирующихся на местообитаниях, никогда не бывших под лесом. Луга исследуемой территории (суходольные и пойменные) обязаны своим существованием деятельности человека. Они возникли на месте сведенных лесов и остаются безлесными лишь до тех пор, пока используются как сенокосы. На долю болот в Мещерской низменности приходится не менее четверти всей площади. Большинство болот относятся к низинному и переходному типам, верховые болота занимают междунные понижения и окраины озер [3].

Биостанция Малинки находится в 40 км к югу от Москвы, на территории Малинского лесничества Краснопахровского лесхоза. Лесничество занимает междуречье рек Пахры и Десны. Климат территории умеренно континентальный. Средняя температура января $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, годовая сумма осадков 540 мм. Почвы преимущественно дерново-подзолистые. Растительный покров полигона достаточно разнообразен. На самых возвышенных частях междуречий (моренных холмах) остались участки широколиственных дубово-липовых и липовых лесов. На основной части территории на моренных равнинах распространены дубово- и липово-еловые леса с примесью мелколиственных пород. Флювиогляциальные равнины заняты ельниками и мелколиственными лесами. В древнеозерных котловинах обычны осиновые и березово-осиновые леса, реже влажные ельники. Изредка здесь встречаются болота (в мелких западинах). Травянистый ярус под пологом леса имеет четкую парцеллярную структуру, отражающую различия в увлажнении и микрорельефе. В днище долин на низкой пойме и по оврагам произрастают сообщества, образуемые черной ольхой. Это явление достаточно редко для Московского региона. Достаточно большие площади в Малинском лесничестве заняты искусственными посадками, преимущественно сосновыми, реже еловыми и лиственничными. Местами встречаются луга, обычно на сегментах высокой поймы, а также на участках, ранее подвергавшихся антропогенному воздействию [2].

Богдинско-Баскунчакский природный заповедник. Озеро Баскунчак и гора Большой Богдо расположены в западной части прикаспийской низменности на левобережье Волги в пределах Ахтубинского административного района Астраханской области. В 1993 году на данной территории был создан государственный природный заказник, включавший в себя памятники природы («Гора Большой Богдо», «Урочище Шарбулак» и «Зеленый сад»). А в 1997 году на базе заказ-

ника был создан Богдинско-Баскунчакский природный заповедник. Главным элементом гидрографии исследуемого района является соленое озеро Баскунчак, одно из крупнейших озер Прикаспийской низменности. Это крупная бессточная впадина, в которую стекают поверхностные воды, а также дренируются подземные воды в виде многочисленных родников. На побережье озера насчитывается более 70 балок и оврагов. Наиболее крупным элементом орографии не только данного района, но и всей Прикаспийской низменности является гора Большой Богдо. Она располагается на южном берегу озера Баскунчак и возвышается над его уровнем, имея абсолютную отметку высоты +152,5 м. Гора является единственным в пределах Европейской части России выходом нижнетриасовых известняков, содержащих типичную морскую фауну. Для данной территории характерной особенностью является развитие карстовых процессов. По климатическим характеристикам исследуемая территория относится к климату северной пустыни. Средние температуры января составляют -8 — -9 °С, средние температуры июля $+24$ — $+25$ °С. Годовая сумма осадков составляет 270 мм. Существенное влияние оказывают восточные и северо-восточные ветры, нередко вызывающие пыльные и солевые бури. В окрестностях озера Баскунчак развиты светло-каштановые суглинистые почвы, образованные на супесях позднехвалынского возраста. Мощность почвенного покрова обычно не превышает 8—10 см, лишь в отрицательных карстовых формах рельефа она может достигать 20 см. По берегу озера Баскунчак развиты почвы с различной степенью засоления (от солончаков до солоней). Своеобразный рельеф, резко континентальный климат, особенности почвенного покрова (засоление, выходы гипса) создали на данной территории условия для формирования разнообразных фитоценозов. По составу растительности исследуемый район относят к зоне южных сухих степей, однако здесь присутствуют растительные сообщества, нехарактерные для этой зоны. Большую часть заповедника занимают злаково-полынные и полынно-злаковые сообщества. В понижениях, на склонах балок и по карстовым воронкам произрастают более влаголюбивые фитоценозы, нередко здесь встречаются кустарники. По гребню горы Большой Богдо, на выходах известняков и мергелей формируются своеобразные фитоценозы с участием нескольких видов лишайников. На засоленных маршах вокруг озера Баскунчак произрастают галофиты, формирующие сочно-солянковую пустыню. Вокруг пресных источников сформировалась мезофитная растительность [5].

Тестовая территория Малый Утриш расположена на полуострове Абрау на черноморском побережье России. Эта территория представляет собой уникальный пример субсредиземноморских ландшафтов России, которые относительно слабо нарушены человеком. Это дает возможность использовать район исследований в качестве своеобразного эталона при оценке экологического состояния субсредиземноморских ландшафтов. Средняя температура июля $+22,6$ — $+23,7$ °С. Среднегодовая сумма осадков 430—680 мм. В исследуемом районе выделяются 3 типа почв: бурые лесные, коричневые и дерновые почвы. Бурые лесные почвы формируются под широколиственными лесами на значительном удалении от моря. Коричневые почвы наиболее широко распространены на данной

территории и встречаются под субсредиземноморской растительностью. Дерновые почвы встречаются под разными типами растительности, преимущественно на наиболее возвышенных участках территории. На данной территории выделяют три вертикальных пояса растительности: 1) нижний пояс — от 0 до 150—200 м — пояс ксерофильных редколесий и кустарников с двумя подпоясами: нижним подпоясом ксерофильных кустарников и низкорослых лесов и редколесий из фисташки туполистной (от 0 до 50—80 м) и верхним подпоясом редколесий из можжевельника высокого (от 50—80 до 200 м); 2) средний — от 100 до 150—250 м — пояс дубовых лесов из дуба пушистого; 3) верхний — выше 150—250 м — пояс мезофильных лесов их дуба скального, граба обыкновенного и ясеня высокого. Нередко поясные границы из-за сложнорасчлененного рельефа размыты и растительный покров представляет пеструю картину плавно сменяющихся друг друга растительных формаций [4].

Радиоэкологическое состояние тестовых территорий в ландшафтно-зональном спектре.

Содержание радионуклидов в биоиндикаторах экосистем выбранных тестовых территорий приведено в таблице 1.

Таблица 1

Содержание радионуклидов в растениях на тестовых территориях

Пункт	Биоиндикатор	Радионуклиды (Бк/кг)				
		²³⁸⁺²³⁹ Pu	⁹⁰ Y + ⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K
<i>Беломорская биостанция. Июнь 2000 г. Сосняк бруснично-черничный ягелевый</i>						
1	Сосна обыкновенная (ветки)	10,4	150	50	—	200
2	Сосна обыкновенная (хвоя)	5,5	77	50	—	200
3	Ягель	46,3	320	85,1	150	200
4	Голокучник Линнея	7,21	1200	190	160	200
5	Черника (ветки)	30,5	210	50	—	200
6	Черника (листья)	31	300	50	—	250
7	Тысячелистник	20	1400	50	56,6	940
<i>Биостанция «Малинки». Июнь 2000 г. Ельник лещиновый кислично-разнотравный</i>						
1	Ель европейская (ветки)	32,2	230	50	—	200
2	Ель европейская (хвоя)	20	250	50	—	190
3	Сосна обыкновенная (ветки)	20	140	50	—	200
4	Сосна обыкновенная (хвоя)	20	130	50	—	200
5	Щитовник мужской	20	720	50	—	200
6	Тысячелетник обыкновенный	20	1100	140	—	200
7	Кислица обыкновенная	20	1300	410	—	1000
<i>Мещера. Август 2000 г. Осинник чернично-папоротниково-разнотравный</i>						
1	Ель (хвоя)	25,6	190	50	—	200
2	Ель (ветки)	150	230	65,7	—	200
3	Золотарник	20	1100	190	70	200
4	Черника (ветки)	25,9	170	50	—	200
5	Черника (листья)	20	230	50	—	200
6	Майник двулистый	20	1800	50	—	200
7	Щитовник игльчатый	180	1100	330	—	1000
<i>Малый Утриш. Ясенево-фисташковый с кизилом и держи-деревом вейниково-разнотравный лес</i>						
1	Фисташка туполистная (ветки)	20	470	180	—	200
2	Фисташка туполистная (лист)	20	700	200	—	200
3	Ясень (ветки)	20	570	120	—	200
4	Ясень (листья)	20	1700	170	—	1300
5	Кизил обыкновенный (ветки)	20	360	50	—	200
6	Кизил обыкновенный (лист)	20	1400	210	—	1000
7	Держи-дерево (ветки)	20	330	50	—	200
8	Держи-дерево (лист)	20	750	50	—	200

Пункт	Биоиндикатор	Радионуклиды (Бк/кг)				
		$^{238+239}\text{Pu}$	$^{90}\text{Y} + ^{90}\text{Sr}$	^{90}Sr	^{137}Cs	^{40}K
<i>Богдино-Баскунчакский заповедник. Июль-август 2000 г. Полынно-злаковая южная степь</i>						
1	Полынь белая	20	400	88,1	—	350
2	Житняк пустынный	20	240	55,1	—	200
3	Кохия простертая	20	750	130	—	200
4	Пижма тысячелистная	20	370	50	—	200
5	Петросимония супротивная	20	670	50	—	200
6	Сарсазан шишковатый	20	580	50	—	200
7	Ковыль волосатик	20	230	50	—	200
8	Тысячелистник пустынный	20	780	130	—	600

В районе Беломорской биостанции наибольшими показателями по содержанию $^{238+239}\text{Pu}$ характеризуется брусника. По содержанию $^{90}\text{Y}—^{90}\text{Sr}$ наибольшими показателями характеризуются голокучник Линнея и тысячелистник sp. По содержанию ^{90}Sr наибольшими показателями характеризуется голокучник Линнея. По содержанию ^{137}Cs наибольшими показателями характеризуются голокучник Линнея и ягель.

В районе биостанции «Малинки» наибольшими показателями по содержанию $^{238+239}\text{Pu}$ характеризуются ветки ели европейской. По содержанию $^{90}\text{Y}—^{90}\text{Sr}$ наибольшими показателями характеризуются кислица обыкновенная и тысячелистник обыкновенный. По содержанию ^{90}Sr наибольшими показателями характеризуется кислица обыкновенная.

В районе национального парка «Мещера» наибольшими показателями по содержанию $^{238+239}\text{Pu}$ характеризуется мох кукушкин лен. По содержанию $^{90}\text{Y}—^{90}\text{Sr}$ наибольшими показателями характеризуются звездчатка дубравная и орляк. По содержанию ^{90}Sr наибольшими показателями характеризуется звездчатка дубравная. По содержанию ^{137}Cs наибольшими показателями характеризуется орляк.

В районе станции «Малый Утриш» наибольшими показателями по содержанию $^{238+239}\text{Pu}$ характеризуется кизил обыкновенный. По содержанию $^{90}\text{Y}—^{90}\text{Sr}$ наибольшими показателями характеризуются листья ясеня. По содержанию ^{90}Sr наибольшими показателями характеризуются держи-дерево и жасмин фруктовый.

В районе Богдино-Баскунчакского заповедника наибольшими показателями по содержанию $^{90}\text{Y}—^{90}\text{Sr}$ характеризуются петросимония супротивная и кохия простертая. По содержанию ^{90}Sr наибольшими показателями характеризуются тысячелистник пустынный и кохия простертая.

Проведенный анализ физико-географических условий и радиоэкологического состояния позволил составить сводную биоиндикационную таблицу (табл. 2).

Биоиндикационная характеристика опытных полигонов

Индикационный показатель	Беломорская биологическая станция	Национальный парк Мещера	Малинки	Богдино-Баскунчакский заповедник	Малый Утриш
Географическая зона	Сев. Тайга	Хвойно-широколиственные леса	Хвойно-широколиственные леса	Южн. степь	Сухие субтропики Черноморского побережья Кавказа
Регион	Мурманская область	Владимирская область	Московская область	Волгоградская область	Краснодарский край
$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, Бк/кг в:					
деревьях	150	750	250	—	1 700
кустарниках	—	450	380	—	1 400
кустарничках	300	330	—	—	—
травах	1 400	1 800	1 300	780	2 600
мхах	—	540	—	—	—
лишайниках	320	220	—	460	—
^{90}Sr , Бк/кг в:					
деревьях	50	140	50	—	200
кустарниках	—	50	50	—	300
кустарничках	50	490	—	—	—
травах	190	50	410	130	290
мхах	—	—	—	—	—
лишайниках	85	50	—	50	—
^{137}Cs , Бк/кг в:					
деревьях	—	95	—	—	—
кустарниках	—	—	—	—	—
кустарничках	18	85	—	—	—
травах	160	480	—	—	—
мхах	—	98	—	—	—
лишайниках	150	—	—	—	—
$^{238+239}\text{Pu}$, Бк/кг в:					
деревьях	11	150	32	—	51
кустарниках	—	28	20	—	20
кустарничках	56	100	—	—	—
травах	20	180	20	20	81
мхах	—	270	—	—	—
лишайниках	47	36	—	140	—

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карпович В.Н. Кандалакшский заповедник. — Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1984.
- [2] Низовцев В.А., Носова Л.М. История, современное состояние ландшафтов Московской области, задачи лесовосстановления и охраны (на примере Малинского лесничества Краснопахровского лесхоза) / Экологические исследования в Москве и Московской области. — М.: Изд-во ИНИОН РАН, 1992.
- [3] Определитель растений Мещеры / Под ред. В.Н. Тихомирова. — М.: Изд-во МГУ, 1986.
- [4] Природа полуострова Абрау (ландшафты, растительность и животное население) / Под ред. К.Б. Гонгальского. — М.: Изд-во МГУ, 2000.
- [5] Природный комплекс Богдинско-баскунчакского государственного природного заповедника и его охрана / Под общ. ред. Ю.С. Чуйкова. — Астрахань.: Изд-во ООО ЦНТЭП, 1998.
- [6] Труды Кандалакшского государственного заповедника. Выпуск VII, ботаническое исследование. — Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1969.

THE BIOINDICATION OF THE RADIATION CONDITIONS

D.A. Markelov

SIA «Radon»

7th Rostovskij str., 2/14, Moscow, Russia, 119121

Bioindication on the basis of accumulation ability of indicators is based on ability of some species to accumulate polluting substances, including radionuclides, in the concentration exceeding their maintenance in other environments. As indicators species active accumulators of radionuclides, typical for the given territory, dominating in vegetative communities are used. Adaptation of systems of bioindication to various zone-landscape conditions is based on search of informative species of indicators for each zone, an establishment of optimum terms of supervision and development of the optimum scheme of bioindication. Adaptation of system is lead on a structure on a gradient of landscape-zone factors on materials of long-term researches of authors.

Results are of interest for a wide range of experts in the field of preservation of the environment, ecological monitoring, ecological safety; the engineering and special services which are carrying out the ecological control of harmful manufactures, can serve as a methodical management for training and preparation of students and the personnel.