УДК 504.54(045)

Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Петрусенко В.П., Саливон А.Г, Родина В.В., Леньшина А.Н.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ БИОТЫ ЕКОСИСТЕМ

В статье рассмотрена проблема экологических рисков и экологического нормирования применительно к экологической и радиационной безопасности биоты разного типа экосистем. Предложен метод оценки допустимых сбросов и выбросов радионуклидов в экосистемы с использованием теории и моделей радиоемкости и метода камерных моделей. Предложены конкретные значения допустимых уровней сброса и выброса радионуклида ^{137}Cs в озерную экосистемы, где критическим звеном биоты является биота донных отложений.

***Ключевые слова**: экологические риски, экологическое нормирование, экологическая безопасность, радионуклиды, радиоемкость, допустимые уровни сброса и выброса.*

У статті роглянута проблема екологічних ризиків і екологічного нормування стосовно до екологічної та радіаційної безпеки біоти різного типу екосистем. Запропоновано метод оцінки припустимих скидів і викидів радіонуклідів до екосистем з використанням теорії і моделей радіоємності та методу камерних моделей. Запропоновані конкретні значення припустимих рівнів скиду та викиду радіонукліду ^{137}Cs до озерної екосистеми, де критичним ланцюгом біоти є біота донних відкладень.

***Ключові слова**: екологічні ризики, екологічне нормування, екологічна безпека, радіонукліди, радіоємність, допустимі рівні скидання і викидання.*

In article the problem ecological risks and ecological standardization is brave also with reference to ecological and radiating safety biota of a different type ecosystems. The method of an estimation of allowable dumps and emissions radionuclides in ecosystems with use of the theory both models of radiocapacity and method of boxes models is offered. The concrete meanings of allowable levels of dump and emission radionuclide ^{137}Cs in lake's ecosystems are offered, where a critical part biota, is biota of ground sediment.

***Key words:** ecological risks, ecological standardы, ecological safety, radionuclides, radiocapacity, allowable levels of dump and emission.*

Разработка системы экологических нормативов на допустимые сбросы и выбросы поллютантов в биоту экосистем требует создания специальных моделей. В существующей системе гигиенического нормирования действуют относительно простые подходы и модели оценки допустимых уровней загрязнения воздуха, воды и продуктов питания. Достаточно наладить их контроль, и выполнение гигиенических нормативов может быть обеспечено. Задача установления экологических нормативов на допустимые уровни загрязнения биоты намного сложнее.

Для того, чтобы ограничить дозу воздействия на биоту, в структуре экосистемы необходимо установить динамику и закономерности распределения и перераспределения поллютантов по компонентам конкретных экосистем для определения критического звена биоты, где следует ожидать депонирования наибольшего количества поллютантов и/или наивысшего уровня дозы воздействия, и где могут быть наибольшие негативные эффекты влияния на биоту.

Рассмотрим проблему экологического нормирования для такого распространенного после аварии на ЧАЭС поллютанта, как ^{137}Cs. По системе зонирования дозовых нагрузок на биоту экосистем (Г.Г. Поликарпов, В.Г. Цыцугина) (таблица 1) [1]. заметных биологических реакций можно ожидать при мощностях дозы приблизительно 0,4 Гр/год для животных и 4 Гр/год для растений и гидро-

бионтов. Предлагается этому уровню мощности дозы поставить в соответствие экологический норматив на допустимые уровни загрязнения биоты ^{137}Cs, когда экологический риск может составить единицу. Речь может идти о том, что при таких дозах возможно угнетение и подавление роста биомассы биоты в экосистеме и заметное ухудшение кондиционирующей функции, т. е способности к очистке и самочистке среды обитания.

Таблица 1

Шкала дозовых нагрузок и зон в экосистемах

Номер дозового предела	Зона	Мощность дозы, Гр/год
1	**Зона радиационного благополучия**	< 0,001-0,005
2	**Зона физиологической маскировки**	0,005-0,05
3	**Зона экологической маскировки**:	
3.1	**а) наземные животные**	0,05-0,4
3.2	**б) гидробионты и наземные растения**	0,05-4
4	**Зона явных экологических эффектов**:	
4.1	**а) драматических для наземных животных**	> 0,4
4.2	**б) драматических для гидробионтов и наземных растений**	> 4
4.3	**в) катастрофических для животных и растений**	100

По дозиметрической модели для дикой биоты, разработанной Б. Амиро [2], эта доза соответствует содержанию в биоте ^{137}Cs, с удельной радиоактивностью примерно в 600 кБк/кг биомассы (табл. 2).

Таблица 2

Величины значений дозовых коэфициентов для биоты экосистем по некоторым радионуклидам (B. Amiro)

Радионуклид	Внутреннее облучение Гр/год/Бк/кг	Внешнее облучение			
		вода Гр/год/Бк/м3	воздух Гр/год /Бк/м3	Почва Гр/год/Бк/кг	вегетация Гр/год/Бк/кг
137Cs	4,1 10-6	2,7 10-9	1,72 10-6	4,02 10-6	1,72 10-6
3H	2, 88 10-8	0	0	0	0
40K	3,44 10-6	1,76 10-9	1,43 10-6	2,64 10-6	1,43 10-6
32P	3,52 10-6	1,57 10-9	1,43 10-6	2,36 10-6	1,43 10-6
241Am	2,86 10-5	1,48 10-10	7,73 10-8	2,22 10-7	7,73 10-8
239Pu	2,64 10-5	3,72 10-12	2,35 10-9	5,58 10-9	2,35 10-9
90Sr	9,92 10-7	3,07 10-10	2,83 10-7	4,61 10-7	2,83 10-7
222Rn	1,12 10-4	8,91 10-9	6 10-6	1,43 10-5	6 10-6
14C	2,5 10-7	6,51 10-12	6,01 10-9	9,77 10-9	6,01 10-9

Это достаточно высокий уровень радиоактивного загрязнения биоты экосистемы, при котором может наблюдаться угнетение и гибель биоты, т. е. уменьшаться биомасса биоты и ее способность кондиционировать среду обитания. Именно эти свойства биоты в первую очередь определяют жизнеспособность всей экосистемы.

Используем для оценки экологических нормативов на допустимые уровни загрязнения биоты экосистем ^{137}Cs метод камерных моделей [3]. Для примера рассмотрим относительно простую, изученную нами склоновую экосистему в виде 9 камер: на вершине склона – лес – далее опушка леса – каменистый участок – луг – сельськохозяйственная терраса – вода озера – донные отложения озера – биота водной толщи – биота донных отложений.

Используя натурные данные и результаты расчетов по разработанным нами моделям радиоемкости (Ю.А. Кутлахмедов) [4, 5, 6] данной экосистемы, можно определить удельные значения радиоактивности по ^{137}Cs в каждой из компонент биоты исследуемой экосистемы. Используя данные о Кн (коэффициентах накопления) ^{137}Cs, моделей радиоемкости разных составляющих данной экосистемы и результатов камерной модели исследуемой экосистемы, можно получить данные о динамике распределения и перераспределения

радионуклида ^{137}Cs в соответствии с системой дифференциальных уравнений, представляющих камерную модель. Чтобы практически использовать предлагаемый подход, сделаем следующий расчет. Допустим, что начальный уровень поступления радионуклидов ^{137}Cs в верхний уровень экосистемы – лес – составляет 1 МБк. С помощью камерной модели исследуемой экосистемы и моделей радиоемкости [4, 5] проведем расчет того, какая часть радионуклидов и какая доза облучения биоты и концентрация радионуклидов ^{137}Cs будет формироваться в разных элементах среды обитания (таблица 3). Установив уровни загрязнения биоты в разных камерах по модели Б. Амиро, можно оценить дозовые нагрузки на биоту, исходя из общего уровня поступления радионуклидов ^{137}Cs в 1 МБк.

Таблица 3

Расчет величины дозы (Гр) на компоненты озерной экосистемы и допустимого годового сброса ^{137}Cs в зависимости от значений Кн, для биоты бентоса (при расчетном значении поступления в лес 1 МБк 137Cs)

Дозы от компонент озерной экосистемы, которые действуют на биоту	Кн. – биоты донных отложений озера(бентоса)					
	1	10	100	1000	10000	100000
От воды	5,4-9*	5,4-9	5,4-9	5,4-9	5,4-9	5,4-9
От донных отложений	3,2-8	3,2-8	3,2-8	3,2-8	3,2-8	3,2-8
От вегетирующей биомассы озера	1,4-8	1,4-7	1,4-6	1,4-5	1,4-4	1,4-3
Внутрення доза	3,3-8	3,3-7	3,3-6	3,3-5	3,3-4	3,3-3
Суммарна доза на биоту	5,2-8	4,8-7	4,7-6	4,7-5	4,7-4	4,7-3
Допустимый сброс в лес 137Cs при условии, что доза в донной биоте озера не превысит 4Гр/год	7,7 + 13 Бк	8,4 + 12 Бк	8,4 + 11 Бк	8,5 + 10 Бк	8,5 + 9 Бк	8,5 + 8 Бк
	2100 Ки	220 Ки	22 Ки	2,3 Ки	0,23 Ки	0,023 Ки
Допустимый сброс в лес 90Sr при условии, что доза в донной биоте озера не превысит 4Гр/год	2,9 + 14 Бк	3,8 + 13 Бк	3,9 + 12 Бк	3,9 + 11 Бк	3,9 + 10 Бк	3,9 + 9 Бк
	7800 Ки	1020 Ки	105 Ки	10,5 Ки	1 Ки	0,1 Ки

* Запись в таблице расчетов 5,4-9 означает $5,4 \cdot 10^{-9}$. И так все остальные данные.

Ясно, что эти дозы будут малыми по сравнению с предлагаемым пределом дозы в 4 Гр/год на биоту. Далее, решая простую пропорцию, мы можем определить пределы поступления радионуклидов ^{137}Cs в камеру «лес» при условии, что мощность дозы не превышает значения в 4 Гр/год. При этом видно, что наибольшие дозовые нагрузки ожидаются в биоте донных отложений биоты озера. Из таблицы 3 следует, что в зависимости от Кн донной биоты, уровни допустимого радионуклидного загрязнения (экологические нормативы на допустимый сброс радионуклидов ^{137}Cs) леса заметно меняются от значений в сотни Ки до единиц. Это означает, что: 1) критическая биота донных отложений может резко ограничить величину экологического норматива; 2) радионуклидному загрязнению может подвергаться не только верхний участок склоновой экосистемы, но и другие нижележащие камеры склоновой экосистемы. При этом жесткость экологического норматива на допустимые уровни сброса радионуклидов заметно возрастает при ситуации, когда радионуклидному загрязнению ^{137}Cs подвергаются нижние уровни склоновой экосистемы – луг, терраса. Чем ниже по склону происходит загрязнение склоновой экосистемы, тем меньше допустимый уровень поступления радионуклидов в исследуемую склоновую экосистему.

Анализируя результаты расчетов, представленные в таблице 3, следует подчеркнуть, что в последних двух строках сделан перерасчет допустимых уровней сброса радионуклидов ^{137}Cs в озеро с помощью простой пропорции: при поступлении 1 МБк в лес – суммарная доза на биоту составляет всего $4,7\ 10^{-3}$ Гр/год. Исходя из экологического норматива в 4 Гр/год, допустимый уровень сброса в лес составит – 1МБк х 4Гр/ $4,7 \cdot 10^{-3}$ Гр = 851 МБк = $8,5 \cdot 10^{+8}$ Бк. Таким образом, экологический норматив на допустимый уровень поступления ^{137}Cs в первый год после аварии, при высоком реальном значении Кн донной биоты в 1 000 единиц не должен превышать всего 2,3 Ки в ситуации разового сброса. В случае дополнительных сбросов радионуклидов в лес в последующие годы после аварии этот норматив будет оценен еще меньшей величиной. Речь идет о том, что высокие значения Кн донной биоты, критической для данной склоновой экосистемы, означают резко ограниченные уровни экологических нормативов на допустимые уровни сброса и выброса радионуклидов даже не верхнем участке склона. В ситуациях поступления радионуклидов в нижележащие участки склона допустимый экологический норматив на их загрязнение радионуклидами ^{137}Cs будет заметно ниже. При этом нетрудно посчитать, что гигиенические нормативы на воду озера как питьевую (2 Бк/л) при таких экологических нормативах никогда не будет превышены. Можно также отметить, что уровни загрязнения травы на лугу, кормовых трав на террасе, при уровне поступления радионуклидов ^{137}Cs в лес на уровне 2,3 Ки или 0,23 Ки, никогда не приведут к получению молока от коров, выпасаемых на этом лугу и/или в результате откорма коров кормовыми травами на террасе, к превышению гигиенического норматива на загрязнение молока в 100 Бк/л. То же самое касается уровней загрязнения овощей от использования воды озера для их орошения, они также не

приведут к превышению гигиенического норматива на загрязнение овощей радионуклидами ^{137}Cs в 100 Бк/кг. Таким образом, в данной реальной ситуации радионуклидного загрязнения склоновой экосистемы ^{137}Cs предлагаемые экологические нормативы на допустимые уровни сброса и выброса радионуклидов заметно ниже, чем гигиенические нормативы, действующие в данной склоновой экосистеме.

Известно, что современная действующая экологическая парадигма состоит в том, что если экологическая ситуация в конкретной экосистеме благоприятна для человека, то экологическая ситуация для дикой биоты тем более будет благоприятна. Проведенный здесь конкретный анализ по расчету экологического норматива на допустимые уровни радионуклидного загрязнения ^{137}Cs для близкой к реальной склоновой экосистеме показывает, что эта парадигма не всегда верна. Можно полагать, что экологические нормативы на допустимые уровни загрязнения поллютантами реальных экосистем могут быть более жесткими, чем человеческие гигиенические нормативы. Гигиенические нормативы относительно просты в разработке, потому что они касаются только одного вида биоты – человека. При этом нормируются отдельные компоненты среды обитания – уровни загрязнения воздуха в зоне дыхания, питьевая вода и продукты питания. Таким образом, эти нормативы делаются и рассчитываются одноразово и только изредка уточняются.

Показано, что разработка экологических нормативов на предельно-допустимые уровни сброса и выброса поллютантов в разные типы экосистем, а значит и обеспечение экологической безопасности, требуют специальных усилий и моделей. Сложность проблемы состоит в том, что даже для одной и той же экосистемы (например, склоновой экосистемы) экологический норматив будет разным: в зависимости от значений Кн биоты донных отложения, в зависимости от распределения поллютантов по компонентам экосистемы и т. д. Сложность задачи возрастает при анализе и расчете экологических нормативов для разных типов экосистем, особенно объединенных в сложные составные ландшафтные экосистемы. Это может означать, что экологическое нормирование, коль скоро оно будет разработано, потребует значительных теоретических и экспериментальных усилий.

В общем виде алгоритм разработки экологических нормативов должен состоять из следующих основных шагов:

1. Оценка спектра и объема загрязнения реальной экосистемы. Ясно, что для каждого из поллютантов и разных объемов загрязнения расчет нужно проводить раздельно.

2. Оценка структуры экосистем ландшафта, попавшего под загрязнение поллютантами. Определение типов экосистем, составляющих данный ландшафт.

3. Моделирование всех имеющихся типов экосистем методами камерных моделей и моделей экологической емкости и радиоемкости с целью определения критических составляющих биоты экосистем и оценки дозовых нагрузок на них.

4. Составление комбинации моделей экосистем, образующих исследуемый загрязненный ландшафт, для установления определяющей критической биоты в этом ландшафте, где могут формироваться наибольшие критические дозы и уровни влияния на биоту.

5. С помощью аналитической геоинформационной системы (ГИС-технологии) провести моделирование экологической емкости и радиоемкости реального исследуемого ландшафта для установления мест наибольшего депонирования поллютантов и максимальных эффектов воздействия поллютантов на биоту в данном ландшафте.

6. Установив критическое место депонирования поллютантов и критическую биоту в ландшафте, можно рассчитать экологический норматив для каждого из поллютантов в данном реальном ландшафте, превышение которого способно привести к необратимым последствиям для биоты и изменить характеристики ландшафта.

Ясно, что для различных поллютантов будут оценены свои экологические нормативы на допустимые уровни их сброса и выброса в реальный исследуемый ландшафт. При комбинированном воздействии нескольких поллютантов – П (числом *i* и с уровнями воздействия $П_i$), потребуется установить экологические нормативы для каждого из них – $ЭН_i$. Условие не превышения общего экологического норматива для всего ландшафта в целом будет выполнено, если выполняется неравенство (1), когда сумма таких *i*-дробей будет:

$$\Sigma\, П_i / ЭН_i \leq 1 \qquad (1)$$

меньше единицы. При этом следует подчеркнуть, что по отношению к разным поллютантам, $ЭН_i$, могут быть различными и относиться к разным критическим составляющим биоты. При изменении площади загрязнения и/или спектра поллютантов потребуется новый анализ и расчет по вышеприведенному алгоритму. Очевидно, что единого экологического норматива на допустимые уровни сброса и выброса разных поллютантов в различные ландшафты практически быть не может.

Реально для каждого опасного химического или радиационного объекта (АЭС, например) и/или другого производства, расположенного в конкретном ландшафте, потребуется специальный анализ, моделирование и расчет экологических нормативов на допустимые уровни сброса и выброса поллютантов в окружающую среду. При этом расчет экологических нормативов должен быть произведен для нормального режима эксплуатации опасного объекта и особенно аварийного режима работы. Необходимый элемент расчета – это оценка экологических нормативов для ситуации проектных и запроектных аварий. Только выполнение таких экологических нормативов (формула 1) на допустимые выбросы и сбросы поллютантов с обязательным включением подобных расчетов и анализа в ОВОС (оценка влияния на окружающую

среду) позволит защитить персонал, население и биоту от опасных воздействий реального объекта. Ясно, что выполнения одних действующих гигиенических нормативов на загрязнение воздуха, питьевой воды и продуктов питания будет недостаточно. Как показали наши исследования, выполнения гигиенических нормативов недостаточно для обеспечения экологической безопасности влияния различных опасных объектов на ОС. Только одновременное выполнение гигиенических и экологических нормативов на допустимые уровни сброса и выброса поллютантов в ОС может обеспечить экологическую безопасность персонала, населения и биоты ОС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поликарпов Г.Г., Цыцугина В.Г. Гидробионты в зоне влияния аварии на Кыштыме и в Чернобыле. Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т. 35. – № 4. – С. 536-548.
2. Amiro B.D. Radiological Conversion Factors for Generic Non-human Biota. Used for Screening Potential Ecological Impacts / J. Environ. Radioactivity. – 1992. – V. 35. – № 1. – P. 37-51.
3. Георгиевский В.Б. Моделирование радиоэкологических процессов в экосистемах. – К.: Наукова думка, 1993. – 234 с.
4. Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И. Проблемы загрязненных радионуклидами больших территорий / Ю.А. Кутлахмедов, В.И. Корогодин // Мед. радиология. – 1994. – Т. 38. – № 8. – С. 5-11.
5. Кутлахмедов Ю.О., Корогодин В.І., Кольтовер В.К. Основи радіоекології / Ю.О. Кутлахмедов, В.І. Корогодін, В.К. Кольтовер. – Київ: Вища школа, 2003. – 319 с.
6. Петрусенко В.П., Кутлахмедов Ю.О. Оцінка і прогноз розподілу радіонуклідів у типовій екосистемі схилів для ландшафтів України / В.П. Петрусенко, Ю.О. Кутлахмедов // Вісник НАУ. – 2006. – № 2. – С. 134-136.

Рецензенти: Томілін Ю.А., д.б.н, професор;
Корольов В.Г., д.б.н., професор

© Кутлахмедов Ю.А., Матвєєва І.В., Петрусенко В.П., Саливон А.Г, Родина В.В., Леньшина А.Н., 2009

Стаття надійшла 22.03.2009 р.