

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ В РАДИАЦИОННОЙ ЭКОЛОГИИ

Экспериментальными и теоретическими исследованиями нами установлено, что чем выше параметр радиоемкости биоты в экосистеме, тем выше уровень благополучия и надежности биоты в данной экосистеме. Установлено, что снижение показателя радиоемкости биоты в растительной экосистеме, при воздействии химических загрязнителей и при гамма-облучении растений, четко отображает снижение благополучия и надежности биоты. Можно утверждать, что параметры радиоемкости способны выступать в качестве меры надежности каждого элемента экосистемы, и экосистемы в целом. Чем выше фактор радиоемкости, и/или вероятность удержания трассера в каждом из элементов экосистемы, тем выше надежность составных элементов экосистемы.

Ключевые слова: надежность экосистем, радиоемкость биоты, математические модели, радиоэкология.

Експериментальними та теоретичними дослідженнями нами встановлено, що чим вище параметр радіємності біоти в екосистемі, тим вище рівень добробуту і надійності біоти в цій екосистемі. Встановлено, що зниження показника радіємності біоти в рослинній екосистемі, при впливі хімічних забруднювачів і при гамма-опроміненні рослин, чітко відображає зниження добробуту і надійності біоти. Можна стверджувати, що параметри радіємності здатні виступати як міра надійності кожного елемента екосистеми, і екосистеми в цілому. Чим вище фактор радіємності, та/або ймовірність утримання трасера в кожному з елементів екосистеми, тим вище надійність складових елементів екосистеми.

Ключові слова: надійність екосистеми, радіємність біоти, математичні моделі, радіоекологія.

Experimental and theoretical studies we have found that the higher the parameter radiocapacity biota in the ecosystem, the higher the level of prosperity and security of the biota in this ecosystem. It is established that a decrease in radiocapacity biota in plant ecosystem under the influence of chemical pollutants and gamma irradiation plant, clearly shows the reduction in welfare and security of the biota. It can be argued that the parameters radiocapacity able to act as a measure of the reliability of each element of the ecosystem and the ecosystem as a whole. The higher the radiocapacity factor, and / or the probability of retention of tracer in each of the elements of the ecosystem, the greater the reliability of the constituent elements of the ecosystem.

Key words: Reliability of the ecosystem, radiocapacity biota, mathematical models, radio-ecology.

Вступление

Разработанные нами модели и теория радиоемкости экосистем, позволили ввести адекватный параметр – фактор радиоемкости, для определения состояния биоты экосистемы. Радиоемкость – определяется как предел радионуклидного загрязнения биоты экосистемы при превышении которого могут наблюдаться угнетение и/или подавление роста биоты. Фактор радиоемкости определен как

доля радионуклидного загрязнения способного накапливаться в том или ином компоненте экосистемы без разрушения ее структуры. Экспериментальными и теоретическими исследованиями нами установлено, что чем выше параметр радиоемкости биоты в экосистеме, тем выше уровень благополучия и надежности биоты в данной экосистеме. В частности, в исследованиях с растительными экосистемами, показано, что

способность биоты накапливать и удерживать радионуклидный трассер – ^{137}Cs , аналог элемента минерального питания растений – К, отображает устойчивость и надежность биоты данной экосистемы. Установлено, что снижение показателя радиоемкости биоты в растительной экосистеме, при воздействии химических поллютантов и при гамма-облучении растений, четко отображает снижение благополучия и надежности биоты.

Таким образом можно утверждать, что параметры радиоемкости способны выступать в качестве меры надежности каждого элемента экосистемы и экосистемы в целом. Чем выше фактор радиоемкости, и/или вероятность удержания трассера в каждом из элементов экосистемы, тем выше надежность составных элементов экосистемы. Используя эти параметры надежности элементов экосистемы, и зная структуру конкретной экосистемы, мы получаем возможность адекватно оценивать надежность всей экосистемы, через ее способность обеспечивать распределение и перераспределение трассера, что отображает ее устойчивое состояние.

На основе этого нового подхода к оценке надежности экосистем нам проведен расчет надежности на примере конкретных типов экосистем (склоновые и горные экосистемы, например). Показано, что склоновые и горные экосистемы, в силу последовательного типа их организации, обладают невысокой устойчивостью и надежностью, в плане способности обеспечивать миграцию поллютантов по данным экосистемам.

Нами показана возможность использования аналитической ГИС технологии для оценки и моделирования динамики распределения и перераспределения поллютантов- ^{137}Cs в реальных ландшафтах и тем самым оценивать их параметры надежности и отображать их в картах территорий.

Тем самым показана перспективность использования разработанного нами надежностного метода анализа состояния экосистем не только для точечных (отдельное поле), линейных (склоновые и горные экосистемы), но пространственных ландшафтных экосистем. Этот метод позволяет оценивать и определять места депонирования и складирования поллютантов в разного типа экосистемах. В свою очередь это позволяет

оценивать дозовые нагрузки и риски на разные типы биоты экосистем.

1. Возможность использования фактора радиоемкости биоты по трассеру ^{137}Cs как показателя надежности биоты экосистемы

В результате аварии на Чернобыльской АЭС мы «щедро» разбросали по всему миру трассер ^{137}Cs . Поэтому мы можем использовать это обстоятельство для установления законов перераспределения трассера по разного типа экосистемам. Если в динамике наблюдения за фактором радиоемкости по трассеру, наблюдается резкое изменения его содержания в биоте исследуемой экосистемы, это может означать заметную реакцию биоты на воздействие, которое она испытывает. Поведение трассера может выполнять функцию «экологического градусника» при оценке состояния и надежности биоты. Известно, что снижение рН воды в озерной экосистеме, приводит к десорбции радионуклидов из донных отложений и биоты в воду и приводит к снижению радиоемкости донной биоты и росту содержания трассера в воде. Это в свою очередь принесет дополнительные дозовые нагрузки для биоты водной толщи озера и для людей, которые используют воду озера для питья и орошения (Корогодин 1960, Кутлахмедов и др. 2003).

Мы показали в экспериментах на водной культуре растений, что динамика параметра фактора радиоемкости биоты экосистемы при действии гамма-облучения и внесения соли тяжелого металла (Cd), практически совпадает с динамикой поведения биологического показателя-скорости роста. Можно утверждать, что поведение в экосистеме трассера ^{137}Cs , как аналога элемента минерального питания-К, отображает степень благополучия в состоянии биоты экосистемы. Отсюда следует вывод, что чем выше способность биоты накапливать и удерживать трассер, тем лучше состояние, а значит и надежность биоты экосистемы (Кутлахмедов, 2006).

2. Влияние и оценка дозовых нагрузок на биоту при накоплении трассера в разных типах экосистем

Исследования проведенные на биоте экосистем позволили установить пределы допустимых дозовых нагрузок на биоту (Поликарпов, 1995). Эти результаты отображены в таблице 1.

Таблица 1

Шкала доз для разных зон поражения экосистем

Зона	Поглощенная мощность дозы (Гр в год)
Зона радиационного благополучия	< 0,001-0,005
Зона физиологической маскировки	0,005-0,05
Зона экологической маскировки: Для наземных животных Для гидробионтов и наземных растений	0,05-0,4 0,05-4
Зона очевидных экологических эффектов: Драматических: Для наземных животных Для гидробионтов и наземных растений	>> 0,4 >> 4
Катастрофические: Для растений и животных	>> 100

Для оценки дозы используют дозовые коэффициенты в модели (Amiro 1992), которые дают

возможность рассчитать дозы для всех составляющих экосистемы (таблица 2).

Таблица 2

Значения дозовых коэффициентов для биоты экосистем для разных радионуклидов

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

Расчеты показали, что лимитирующая доза облучения – 4Гр/год для биоты экосистем, может быть достигнута при количестве радионуклидов (например Cs-137) в 600 кБк/кг биомассы.

Показано, что в диапазоне доз для биоты от 0 до 4 Гр надежность изменяется линейно от 1 до 0. Мы получили оценку радиоемкости биотической

компоненты экосистемы, когда величина надежности биоты будет близка к 0 ($\approx 600 \text{ kBq/kg}$). Таким образом, параметр радиоемкости может служить мерой надежности биоты в экосистеме. Рассмотрим пример склоновой экосистемы (блок-схема на рис. 1) (Петрусенко, 2006).

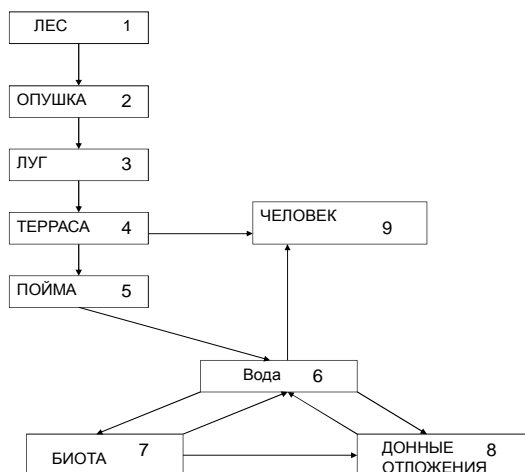


Рис 1. Блок схема типовой склоновой экосистемы из 9 камер

Математическое моделирование данной склоновой экосистемы позволило получить решение

и представить графики динамики перераспределения трассера (рис. 2).

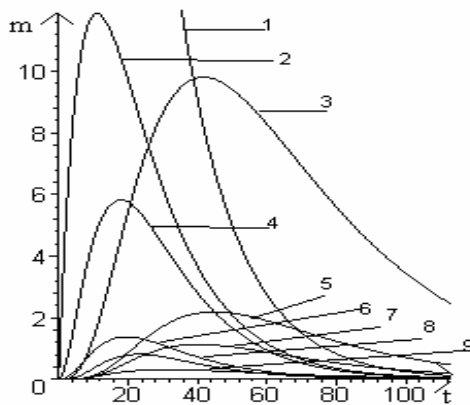


Рис 2. Динамика содержания трассера в разных камерах экосистемы: m – % от исходного количества; t – годы

Полученные данные позволяют оценить дозы в биоте разные компоненты склоновой экосистемы в зависимости от общего содержания трассера (^{137}Cs) экосистеме и надежность биоты и экосистемы.

Для расчетов надежности использована последовательная модель. Результаты представлены в таблице 3 для разных значений запаса трассера в экосистеме.

Таблица 3

Оценка надежности типовой склоновой экосистемы при разных уровнях радионуклидного загрязнения (^{137}Cs) верхнего участка (лес)

Уровень загрязнения	10 Ки/км ²	50 Ки/км ²	100 Ки/км ²
1. Лес	0,93	0,67	0,34
2. Опушка	1	1	1
3. Луг (6 %)	0,99	0,99	0,99
4. С/х терраса (1,4 %)	0,99	0,99	0,99
5. Пойма озера (0,82 %)	1	0,99	0,99
6. Биота донных отложений озера (1,16 %)	0,95	0,75	0,5
Общая надежность экосистемы	0,87	0,49	0,165

Установлено, что даже при низких значениях запаса (10 Ки/км²) надежность экосистемы заметно снижена. При больших значениях запаса радионуклидов надежность экосистемы резко падает.

4. Применение аналитической ГИС-технологии для анализа реальной радиоемкости экосистемы ландшафтов.

Анализ поведения загрязняющих веществ в склоновых экосистемах, компоненты которых лежат в основе практически любого ландшафта земле, показал возможность описания распределения и перераспределения радионуклидов методами теории синергизма, с применением камерных моделей. Исследования показывают, что скорость движения радионуклидов в ландшафте определяется, в основном, несколькими характеристиками: крутизна склона (P1), вид покрытия (P2), изрезанность

ландшафта (P3), вертикальная (P4) и горизонтальная миграция радионуклидов (P5). Методы ранговой оценки, и проведенной оценки вероятности позволили оценить влияния этих параметров ландшафта на перераспределение радионуклидов. Каждый из параметров оценивается от 0 до 1. В силу независимости параметров ландшафта, общая оценка вероятности миграции радионуклидов в отношении элементов ландшафта определяется по формуле $P = P1 \cdot P2 \cdot P3 \cdot P4 \cdot P5$. Использование аналитической ГИС технологии позволяет оценивать и прогнозировать динамику перераспределения загрязняющих веществ в режиме реального ландшафта с помощью радиоемкости модели для конкретного полигона пейзаж «Лесники» под Киевом представляли (Кутлахмедов, 2006).

ЛИТЕРАТУРА

1. Агре В.Ю., Корогодин В.И. (1960). О распределении радиоактивного загрязнения в не проточном водоеме, Медицинская радиология. – С. 42, 63-73.
2. Кутлахмедов Ю.А., В.И. Корогодин и Кольтовер В.К (2003). Основы радиоэкологии. – К.: Виша школа. – 320 с.
3. Кутлахмедов Ю.А., Гродзинский Д.М. и др. Методы управления радиоемкости экосистем. – К.: Фитоцентр, 2006 – 172 с.
4. Поликарпов С.С. и Цыгугина В.Г.(1995) Состояние гидробионтов в зоне влияния аварии на Кыштиме и на Чернобыльской АЭС. Радиационная биология. Радиоэкологии. – 35, 4. – С. 536-548
5. Amiro, B.D. (1992) Radiological Conversion Factors for Generic Non-human Biota. Used for Screening Potential Ecological Impacts. J. Environ. Radioactivity, 35. – С. 37-51.
6. Петрусенко, В.П. и Кутлахмедов Ю.А. (2006). Оценка и прогноз распределения радионуклидов в типичных склоновых экосистем ландшафтов Украины. Вестник НАУ, 2. – С. 134-136.

Рецензенти: Томілін Ю.А., д.б.н., професор, Чорноморський державний університет імені Петра Могили; Корольов В.Г., д.б.н., професор НИИ ЛИЯФ, м. Санкт-Петербург.

© Кутлахмедов Ю.А., Саливон А.Г., Пчеловская С.А., Родина В.В., Матвеева И.В., Петрусенко В.П., 2010

Стаття надійшла до редколегії 10.06.2010 р.