

Российская академия наук,
Российская академия сельскохозяйственных наук,
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН,
Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной
радиологии и агроэкологии РАСХН

**«РАДИОЭКОЛОГИЯ: ИТОГИ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Сборник материалов

Москва, 3–5 июня 2008 года

Под редакцией академика РАСХН Р.М. Алексахина

З.И. Александрова
Г.М. Ва

Обнинск, 2008

N.M.
Russian Inst

...ная конференция «Радиоэкология: итоги, современное состояние и
...Москва, 3–5 июня 2008 года: Сборник материалов / Под. ред. Р.М.
...Янинск: «Фабрика овсетной печати», 2008. 320 с.

«RAI
- OI

...нные в сборнике труды посвящены вопросам миграции радионукли-
...щей среде, действия ионизирующих излучений на популяции живых
...экосистемы (с особым акцентом на воздействие малых доз), сочетан-
...ионизирующих излучений и поллютантов нерадиационной природы
...гической дозиметрии. Рассмотрены также проблемы реабилитации ра-
...разных территорий и радиационной защиты окружающей среды.

УДК 574:577.391

ББК28.081.2

Edit

© ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2008

© Авторы, текст, 2008

ISBN 978-5-904240-02-8

СОДЕРЖАНИЕ

	8	
	11	<i>Крышев И.И.</i> радионуклиды
	13	Моделирование
	23	<i>Кутлахмедов В.П., Саливо.</i> радиоэколог
	29	<i>Мамихин С.Б.</i> радионуклиды
	37	<i>Фрид А.С.</i> Методы достижения
	46	Радиационные последствия
	57	<i>Квасникова Е.</i> <i>Манзон Д.А.</i> Оценка ландшафта за рубежом
	66	<i>Козьмин Г.В., С.В., Момот</i> хранилища р
	70	<i>Парамонова Г.</i> южной тайги
	76	<i>Родикова В.А.</i> сопряженных
	86	<i>Жукова О.М.,</i> ²¹⁰ Pb при оценке
	91	<i>Селезнев А.А.</i> г. Екатеринбург
	97	<i>Кудряшева Н.С.</i> Влияние ²⁴¹ Am
	106	<i>Польский О.Г.</i> Менеджмент
	112	<i>Зарубина Н.Е.</i> «Стайки» 2000
	115	Радиационная биология
	132	<i>Шафранский И.</i> моделей кинетики
	135	<i>Шафранский И.</i> редко-ионизирующего последствий а
		<i>Калиненко Л.Б.</i> чернобыльско
		<i>Каткова М.Н.</i> населения пос
		<i>Япмошенко И.</i>

	<i>Крышев И.И., Крышев А.И., Крылов А.Л., Носов А.В.</i> Валидация моделей переноса радионуклидов в реке Теча	168
8	Моделирование радиоэкологических процессов	
11	<i>Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И., Родина В.В., Матвеева И.В., Петрусенко В.П., Саливон А.Г., Леньшина А.Н.</i> Теория и модели радиосмкости в современной радиоэкологии	177
13	<i>Мамихин С.В., Манахов Д.В.</i> Перспективы имитационного моделирования поведения радионуклидов в наземных экосистемах	193
23	<i>Фрид А.С.</i> Модели миграции радионуклидов в наземных агроэкосистемах: некоторые достижения и проблемы	199
29	Радиационный и биологический мониторинг	
	<i>Квасникова Е.В.</i> Радиоактивное загрязнение в атласном картографировании	205
37	<i>Манзон Д.А.</i> Особенности методов радиационного мониторинга полей стареющего в ландшафте загрязнения	211
46	<i>Козьмин Г.В., Пяткова С.В., Васильева А.Н., Сынзыныс Б.И., Латынова Н.Е., Круглов С.В., Момот О.А.</i> Радиоэкологическое исследование на биотопе регионального хранилища радиоактивных отходов	217
57	<i>Парамонова Т.А.</i> Аккумуляция техногенного ¹³⁷ Cs в почвах фоновых ландшафтов южной тайги европейской территории России	229
66	<i>Родикова В.А.</i> Изменчивость профилей вертикального распределения ¹³⁷ Cs в почвах сопряженных ландшафтов восточного чернобыльского следа	239
70	<i>Жукова О.М., Голосов В.Н.</i> Проблема неоднородности выпадения ¹³⁷ Cs и атмосферного ²¹⁰ Pb при оценке темпов эрозионно-аккумулятивных процессов.	247
76	<i>Селезнев А.А.</i> Локальная миграция ¹³⁷ Cs в условиях городского ландшафта в г. Екатеринбурге	257
86	<i>Кудряшева Н.С., Рожко Т.В., Могильная О.А., Выдрякова Г.А., Бондарева Л.Г., Стом Д.И.</i> Влияние ²⁴¹ Am на люминесцентные бактерии <i>P. phosphoreum</i>	261
91	<i>Польский О.Г., Мельников Е.Н., Зайцев В.В., Зайцева Н.Б., Федина Е.В., Роголис В.С.</i> Менеджмент радиологического мониторинга мегаполиса	267
97	<i>Зарубина Н.Е.</i> Сезонная динамика содержания ¹³⁷ Cs в грибах-макромицетах (полигон «Стайки» 2006-2007 гг.)	277
102	Радиационная гигиена	
108	<i>Шафранский И.Л., Туков А.Р.</i> Преимущества оценок риска на основе многостадийных моделей кинетики неопластической трансформации риска	277
112	<i>Шафранский И.Л., Туков А.Р.</i> Особенности оценки риска воздействия внешнего редко-ионизирующего излучения в диапазоне малых доз на ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС	287
118	<i>Калиненко Л.В., Ищенко А.В.</i> Сохранение здоровья лиц, пострадавших вследствие чернобыльской катастрофы	297
124	<i>Каткова М.Н.</i> Сравнение радиационных и химических рисков от ингаляции для населения поселка Новогорный Челябинской области	297
135	<i>Ярмошенко И.В., Селезнев А.А., Коньшина Л.Г., Лежнин В.Л., Жуковский М.В., Чуканов В.И.</i> Анализ данных о радиационной обстановке в сельском населении северной части Восточно-	307

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ТЕОРИЯ И МОДЕЛИ РАДИОЕМКОСТИ В СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ

Ю.А. Кутлахмедов*¹, В.И. Корогодин², В.В. Родина¹, И.В. Матвеева³, В.П. Петрусенко³, А.Г. Саливон¹, А.Н. Леньшина¹

**Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАНУ, Киев, Украина*

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³Национальный авиационный университет, Киев, Украина

На теоретических моделях, в расчетах и в экспериментальных исследованиях представлены результаты применения метода изучения состояния экосистем по реакциям параметров радиоемкости, искусственно введенного в экосистему – трассера (¹³⁷Cs). В экспериментах (на модельной экосистеме - водной культуре растений кукурузы), в математических моделях линейных (склоновых) экосистем и на реальных ландшафтах исследовались параметры их радиоемкости. Радиоемкость - предельное количество радионуклидов, которое может быть депонировано в биоте экосистем без ее поражения и угнетения. На разных типах экосистем, по показателю радиоемкости биоты и по ее ростовым показателям, получены сравнительные оценки влияния на биоту γ -радиации, соли тяжелого металла – Cd и их комбинации.

Радиоемкость, математические модели экосистем, трассер, синергизм факторов, аналитические ГИС технологии в радиэкологии.

Важной задачей современной радиобиологии является изучение эффектов, вызванных сочетанием различных стрессовых факторов на живые организмы, а также процессы восстановления и адаптации к стрессовым влияниям. В условиях загрязненной среды важно знать особенности совместного влияния разных вредных факторов на организмы, их взаимодействия между собой. Явление синергизма во взаимодействии разных по своей природе стрессоров - это актуальный вопрос, привлекающий внимание биологов, радиобиологов, радиэкологов.

Для оценки влияния воздействия ионизирующих излучений в отдельности, а также в комбинации с внесением в питательную среду солей токсических металлов, на состояние модели растительной экосистемы предложено использовать чувствительный показатель - фактор радиоемкости. Представление о факторе радиоемкости, предложенное А.Л. Агре и В.И. Корогодиным в 1960 г.[1], положено нами в основу новой радиэкологической концепции. Радиоемкость экосистем определяется как предел депонирования радионуклидов в экосистеме и ее элементах, выше которого может происходить угнетение, подавление и гибель биоты экосистемы.

Для оценки состояния и благополучия экосистем используют до 30 различных показателей и параметров – от разнообразия видов до биомассы и т.д. [2]. Важная особенность этих показателей, что практически все они начинают существенно изменяться только когда биота претерпевает значительные изменения. Практически важно иметь показатели и параметры, которые позволяли бы опережающим образом оценивать состояние биоты экосистем и особенности распределения и перераспределения поллютантов в реальных ландшафтах. На основе теоретического

Экспериментальных исследований нами предложено использовать такую характеристику и/или фактор радиоемкости экосистем и ее составляющих. Определяется как предельное количество поллютантов (радионуклиды), которое может аккумулироваться в биотических компонентах экосистемы, без нарушения основных функций (воспроизводство и кондиционирование среды). Фактор радиоемкости определяется как доля поллютантов, которая находится в том или ином компоненте экосистемы (в ландшафте). Нами было предложено для оценки благополучия биоты в экосистеме использовать в качестве базового параметра — биомасса видов в экосистеме и их способность очищать и кондиционировать среду от отходов жизнедеятельности и поллютантов, попадающих в экосистему.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть. Исследования проводили на водной культуре кукурузы сорта Днепровская-247. В эксперименте использовали 4-хсуточные проростки, выращенные в термостате при температуре 24 °С в чашках Петри на фильтровальной бумаге. В дальнейшем, в соответствии со схемой эксперимента, проростки разделяли на группы, одни из которых подвергались только воздействию облучения, другие — комбинированному действию облучения и соли кадмия — независимо от влияния разных концентраций хлорида кадмия и дозы облучения на группу растений. Для того чтобы показать адекватность предложенной модели фактора радиоемкости, было проведено сравнение реакции проростков на действие фактора радиоемкости на внешние вредные влияния — облучение и внесение хлорида кадмия. В качестве ростовых характеристик растений определяли длину основного корня, и относительную скорость роста (ОСР). Также определяли способность поведения параметров ОСР и фактора радиоемкости [2].

Для определения скорости смены состояния модельной экосистемы исследовали зависимость фактора радиоемкости водной компоненты экосистемы. В эксперименте фактор радиоемкости биотической компоненты — растений определяли как отношение поглощенной активности по радионуклиду-трассеру к общей его активности в среде (вода). В качестве трассера был выбран радиоактивный ^{137}Cs , поскольку он является ближайшим аналогом элемента калия и его поглощение отображает качество питания растений. Перераспределение ^{137}Cs между компонентами экосистемы легко отслеживать с помощью γ -спектрометра. После облучения проростки помещали на 0,5 л. емкости с водопроводной водой, где они росли на протяжении 12-14 суток на установке с освещением, при чередовании дня и ночи. В экспериментальных вариантах вносили раствор $^{137}\text{CsCl}$ с активностью 3-5 кБк на 0,5 л. Перед началом опыта обрабатывали раствором стабильного цезия с целью насыщения сорбции ионов цезия стенками посуды.

Измерения поглощенной радиоактивности растений относительно трассера проводили ежедневно. Поглощенная активность определялась с помощью измерения остаточной активности по ^{137}Cs в воде. Для определения активности ^{137}Cs использовали сцинтилляционный натрий-иодный детектор СЕГ-01.

Для изучения роли процессов восстановления в изменении показателей радиоемкости проводили эксперимент с кукурузой. Проростки кукурузы осуществляли на γ -установке «Гель» с кобальтовыми источниками. Мощность дозы составляла 0,08 Гр/с. Дозы поглощенные объектом дозы были от 1 до 100 Гр, в зависимости от схемы эксперимента.

Для изучения роли процессов восстановления в изменении показателей радиоемкости проводили эксперимент с кукурузой. Проростки кукурузы осуществляли на γ -установке «Гель» с кобальтовыми источниками. Мощность дозы составляла 0,08 Гр/с. Дозы поглощенные объектом дозы были от 1 до 100 Гр, в зависимости от схемы эксперимента.

опыта, 6, 10, 12, 2 путем раздела внес кадмия концентра со временем межд Таким образом изу лучения растений . при разных режим

При исследовании корней растений экспериментов. Излучение в малой дозе (обычно 1 Гр) является адаптирующей фактором к дозе облучениями в эксперименте повышается (повышенный синдром), а также радиостойкость на модельной экосистеме. Фактор радиоемкости так и на процессы

2. Методы моделирования. Моделью разного типа для описания радиостойкости растений является модель радиостойкости линейного типа. Доза облучения (радионуклида ^{137}Cs) ГИС-технологии.

Используя технику моделирования нами была разработана модель радиостойкости растений и проводили экспериментальные исследования. Математической моделью радиостойкости растений является модель радиостойкости линейного типа. Доза облучения (радионуклида ^{137}Cs) ГИС-технологии.

1. Локальные экосистемы.
1.1. Теоретическая модель экосистемы (озер и экспериментальные исследования радиоемкости и/или

Рассмотрим процессы восстановления в изменении показателей радиостойкости окружающей среды (радиостойкости) и водные растения, л

опыта, 6, 10, 12, 24 или 48 час. Фракционирование токсичного влияния проводили путем раздела внесения раствора соли $CdCl_2$ на две фракции. Таким образом, хлорид кадмия концентрацией 50 мкМ/л вносили в воду одинаковыми частями — по 25 мкМ со временем между фракциями 6, 10, 12 или 24 час, согласно схеме эксперимента. Таким образом изучалось независимое влияние каждого из факторов: острого γ -облучения растений и внесения хлорида кадмия; а также их комбинированное влияние при разных режимах применения каждого из факторов.

При исследовании влияния процессов адаптации на ростовые показатели корней растений и на параметры радиоемкости использовали следующую схему экспериментов. Изучение радиоадаптивного ответа биологического объекта на облучение в малой дозе проявляется в экспериментах, осуществляемых по схеме: малая доза (обычно 1 Гр γ -облучения $+\Delta t$ (фракция) + острая доза (от 10 до 30 Гр). Малая доза является адаптирующей, высокая - тестирующей. Изменяя интервал времени Δt между облучениями в этих дозах, было определено время, на протяжении которого формируется повышенная радиоустойчивость (адаптивный ответ, или радиоадаптационный синдром), а также время, на протяжении которого хранится индуцированная радиоустойчивость. В работе по изучению закономерностей механизмов адаптации на модельной экосистеме для оценки состояния растений также использовали параметр радиоемкости, который адекватно реагировал как на процессы восстановления, так и на процессы адаптации.

2. *Методы математического моделирования.* В работе используются камерные модели разного типа экосистем. Двухкамерная модель для описания и моделирования результатов наших экспериментов на локальной модельной экосистеме — водной культуре растений кукурузы. Более сложные многокамерные модели использовали для описания радиоэкологических процессов в склоновых и горных экосистемах линейного типа. Для моделирования радиоемкости и перераспределения трассера (радионуклида ^{137}Cs) в реальных ландшафтах использовали методы аналитической ГИС-технологии.

Используя технические возможности программного продукта ESRI ArcGIS, нами была разработана модельно-аналитическая ГИС, которая позволяет анализировать и проводить прогнозы миграции загрязняющих веществ в экосистемах. Математической основой данной ГИС является разработанная нами математическая модель миграции веществ-загрязнителей в экосистемах. Основными информационными составляющими данной модели являются физико-химические и биохимические характеристики веществ-загрязнителей, а также природные и антропогенные условия окружающей среды. Анализ исходных данных позволяет нам выйти на ключевые блоки нашей модели - показатели скоростей вноса и выноса загрязнителей в экосистемах. В этих исследованиях применялся специальный алгоритм (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Локальные экосистемы. Теоретические и экспериментальные исследования

1.1. Теоретическая часть. Представление о радиоемкости для простой двухкамерной экосистемы (озеро, водная культура растений). На основе теоретического анализа и экспериментальных исследований нами предложено использовать такую меру как радиоемкость и/или фактор радиоемкости экосистем и ее составляющих.

Рассмотрим проблему радиоемкости на примере двухкамерной модели экосистемы, которая включает среду (воду) и биоту. Возьмем за основу двухкамерную модель окружающей среды (ОС) — камеру ОС (вода, почва и т.д.) и камеру биоты (наземные и водные растения, лес и т.д.). Рассмотрим вариант озерной экосистемы.

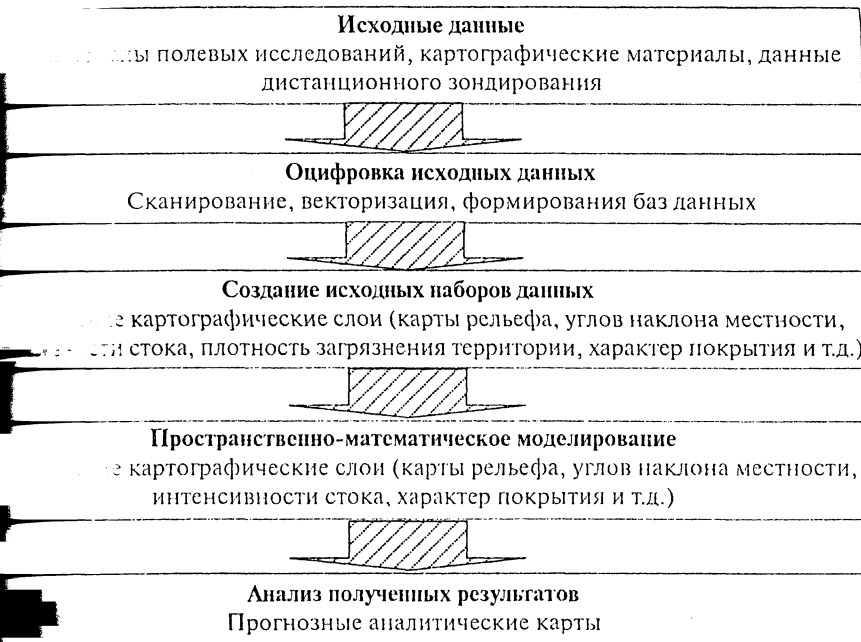


Рис. 1. Алгоритм применения аналитической ГИС технологии, разработанный автором

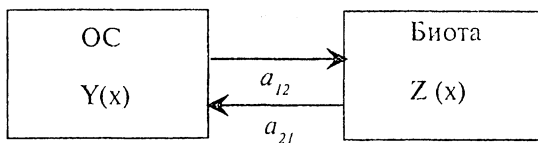


Рис. 2. Схематическая модель простой камерной модели экосистемы

Рассмотрим две камеры (рис. 2), содержащие $Y(x)$ и $Z(x)$ радионуклидов, со временем x - скоростью поглощения радионуклидов трассеров (и пропорционально скорости поглощения питательных веществ, например, калия) и a_{21} - скоростью выноса радионуклидов из биоты в воду.

Эта модель описывается в виде системы двух дифференциальных уравнений. Предположим, что исходный запас радионуклидов в камере $Y(x)$ составлял Y_0 {Бк (^{137}Cs)}. Этих дифференциальных уравнений для данной модели есть:

$$Y'(x) = -\frac{Y_0}{a_{12} + a_{21}(a_{21} + a_{12} \exp[-(a_{12} + a_{21})x])} \quad (1)$$

$$Z'(x) = \frac{Y_0 a_{21}}{a_{12} + a_{21}(\exp[-(a_{12} + a_{21})x])}$$

Если время наблюдения велико, то можно рассчитать и оценить фактор радиоемкости биоты и для воды следующим образом:

Сравнивая эти у

Таким образом, отношение радиоемкости к биомассе биоты означает, что чем выше соотношение радионуклидов к биомассе, тем выше соотношение радионуклидов к скорости стока.

Фактор радиоемкости экосистемы можно отметить, что фактор радиоемкости экосистемы: вода, донные отложения, донная фауна.

где k - коэффициент радиоемкости слоя в иле; P - радионуклидов, содержащихся в слое; I - радионуклидов, содержащихся в воде (I - фактор не зависит от радионуклидов и позволяет сравнивать количество радионуклидов в слое и в воде).

Фактор радиоемкости экосистемы по формуле (5):

где P - радионуклидов, содержащихся в слое; I - радионуклидов, содержащихся в воде (I - фактор не зависит от радионуклидов и позволяет сравнивать количество радионуклидов в слое и в воде).

Кроме фактора радиоемкости экосистемы нам необходимо учитывать радионуклиды в биоте и в воде. Проблема синергизма радионуклидов (γ-облучение) и радионуклидов (3). Показано, что радионуклиды в биоте и в воде имеют видозимметричные факторы при и в воде. В частности, у водных организмов радионуклиды в воде имеют радиоемкость, радионуклиды в биоте имеют радионуклиды в воде.

Модель синергизма радионуклидов в биоте и в воде позволяет оценить радионуклиды в биоте и в воде.

$$F_b = \frac{a_{12}}{a_{21} + a_{12}}; \quad F_w = \frac{a_{21}}{a_{12} + a_{21}}. \quad (2)$$

Сравнивая эти уравнения, можно получить:

$$\frac{a_{12}}{a_{21}} = \frac{F_b}{F_w} = \frac{1 - F_w}{F_b} = Z \quad (3)$$

Таким образом, отношение скоростей поглощения и оттока трассера (обозначенное нами, как параметр Z) и элемента минерального питания калия пропорционально биомассе биоты и коэффициенту накопления в системе «вода-биота». Это означает, что чем выше биомасса биоты и коэффициент накопления трассера биотой, тем выше соотношение скоростей поглощения и оттока трассера, а значит и питательных веществ из воды в биомассу биоты. Хорошо видна связь параметра радиоэмкости со скоростями поглощения и оттока.

Фактор радиоэмкости определяет долю радионуклидов, удерживаемых в биотических и абиотических компонентах экосистемы. На примере озерной экосистемы можно отметить, что свое значение фактора радиоэмкости имеет каждый компонент экосистемы: вода, донные отложения, биота водоема. Была построена модель и выведена следующая формула для расчетов фактора радиоэмкости водоемов [1]:

$$F = \frac{kh}{H + kh}, \quad (4)$$

где k - коэффициент накопления «вода-донные отложения»; h - толщина сорбирующего слоя в иле; H - средняя глубина водоема, а F показывает, какая часть радионуклидов, содержащаяся в водоеме, приходится на долю донных отложений (F), а какая - на воду ($1 - F$). Величину F назвали «фактором радиоэмкости» водоема. Этот фактор не зависит от концентрации радионуклидов в воде C на большом интервале значений и позволяет рассчитывать степень загрязнения воды водоема, если известно количество поступивших в него радионуклидов и площадь его поверхности.

Фактор радиоэмкости биотической составляющей водоема можно оценить по формуле (5):

$$F_b = \frac{PKH}{H + kh + PKH}, \quad (5)$$

где P - плотность биомассы в единице объема; K - коэффициент накопления «вода - биота» (4).

Кроме формул для оценки факторов радиоэмкости используемой модельной экосистемы нами введен специальный параметр Z - отношение факторов радиоэмкости биоты и воды. Этот параметр широко используется нами при исследовании проблемы синергизма при действии множества факторов физической (внешнее γ -облучение) и химической природы (внесение соли кадмия) на биоту экосистем (3). Показано, что данная модельная экосистема может быть использована для эквидозиметрических оценок комбинированного влияния химических и физических факторов при исследовании на модельной экосистеме (водной культуре растений). В частности, установлено, что воздействие тяжелого металла кадмия в концентрации 3-4 мкмоль/л соответствует, по биологическому эффекту и по влиянию на параметры радиоэмкости, дозе острого γ -облучения в 1 Гр.

Модель синергизма. На основе моделей нами разработан параметр, который позволяет оценивать характер взаимодействия разных факторов - P - синергизм, аддитивность и антагонизм и определяется следующей формулой:

$$P = \frac{Z_{Cd+obl}}{Z_{Cd} \cdot Z_{obl}} \cdot Z_0 \quad (6),$$

отношение F_6/F_6 контрольного варианта; Z_{Cd+obl} – отношение для комбинации воздействия γ -облучения и хлорида кадмия; Z_{Cd} и Z_{obl} – отношение для отдельных воздействий каждого из факторов.

$P < 1$ – наблюдается синергизм в взаимодействии факторов, то есть факторы оказывают негативное действие друг друга (независимое действие каждого из факторов).

$P > 1$ – антагонизм, то есть негативное воздействие одного фактора, уменьшаемое действием другого (5).

Если система состоит из двух камер – биота и вода, то формула радиоемкости биоты упростится:

$$F_s = \frac{PK}{1+PK}, \quad F_g = \frac{1}{1+PK}, \quad \text{тогда} \quad Z = PK \quad (7)$$

Если подставить формулы (7) с формулой (3) показывает, что $a_{12}/a_{21} = Z = RK$. Таким образом, соотношение скорости поглощения и оттока радионуклидов в исследуемой экосистеме – водной культуре растений кукурузы зависит от произведений биомассы растений и их коэффициента накопления, и тем самым характеризует состояние и благополучие биоты экосистем.

Модельные экосистемы. Экспериментальная часть.

Цикл исследований на модельной экосистеме – водной культуре растений, который показал, что фактор радиоемкости биоты, по отношению к исследуемому радионуклиду (^{137}Cs), является весьма чувствительным показателем состояния биоты. Он коррелирует с изменениями ростовых показателей. Показано, что чем лучше идет ростовой процесс, тем выше фактор радиоемкости биоты модельной экосистемы. Это означает, что изменения параметров радиоемкости могут служить адекватным индикатором распределения и перераспределения радионуклидов в экосистеме и мерой благополучия биоты в ней. Таким образом, показана применимость подхода с позиций радиоемкости для анализа локальных экосистем (рис. 3, 4).

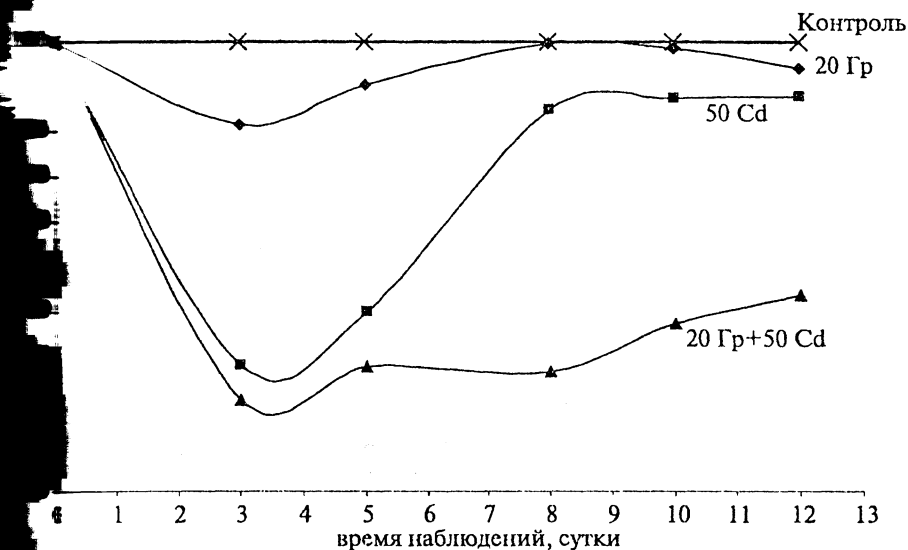


Рис. 5. Зависимость отношения ^{137}Cs проростками кукурузы в процентном отношении к контролю при воздействии острого γ -облучения (20 Гр) и внесения хлорида кадмия

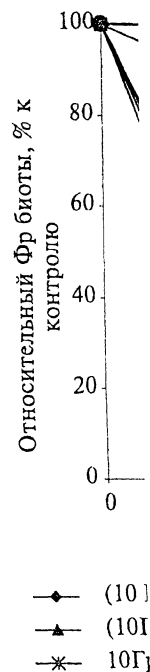


Рис. 4. Динамика относительной фракции ^{137}Cs в кукурузе при остром γ -облучении (10Г)

На рис. 5 и 6 показаны зависимости радиоемкости биоты от дозы облучения и концентрации кадмия в экосистеме от 1

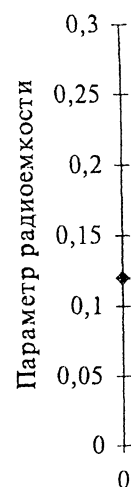


Рис. 5. Зависимость радиоемкости биоты от дозы облучения и концентрации кадмия в экосистеме

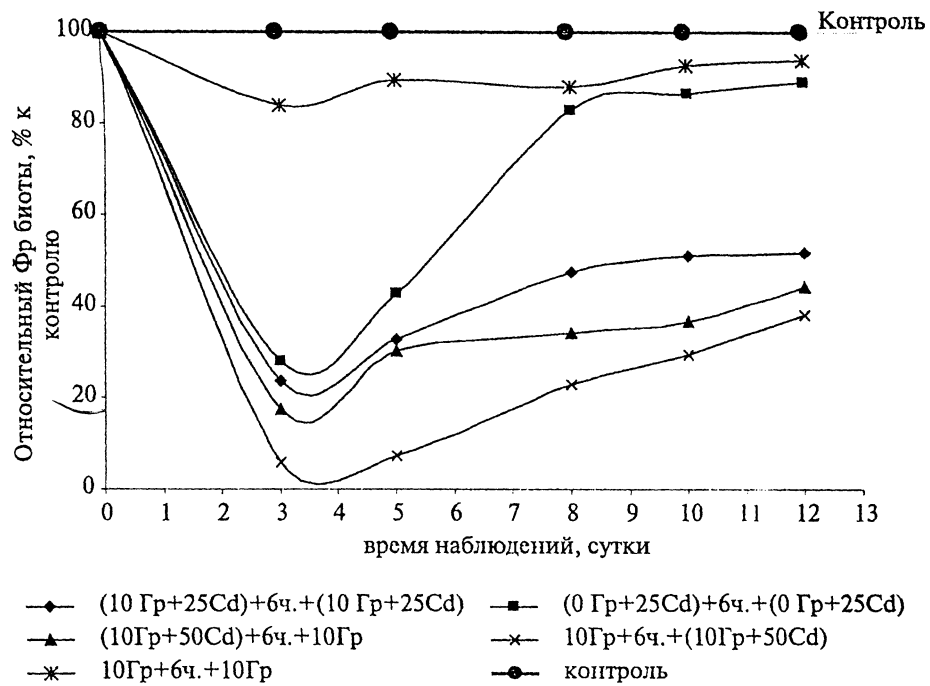


Рис. 4. Динамика поглощения ^{137}Cs проростками кукурузы при совместном действии фракционированного γ -облучения и внесения хлорида кадмия

На рис. 5 и рис. 6 представлены зависимости фактора радиоемкости модельной экосистемы от дозы для разных стрессовых факторов.

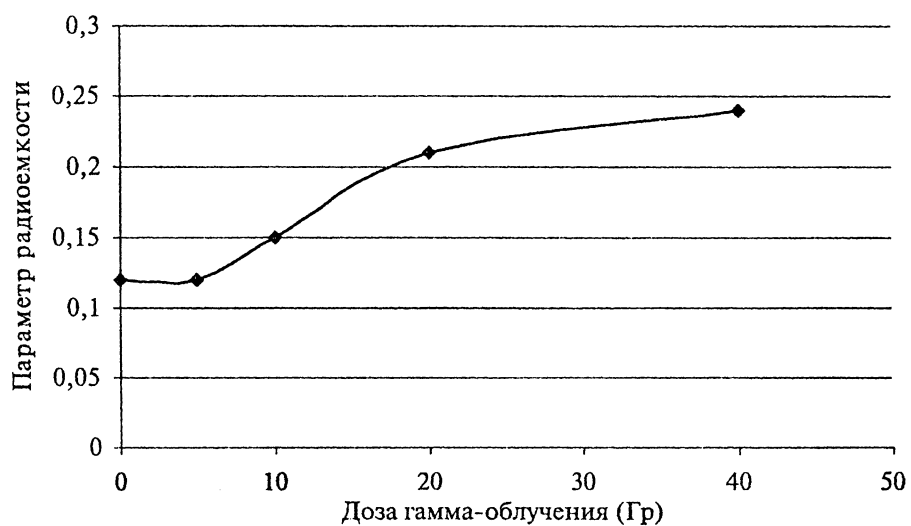
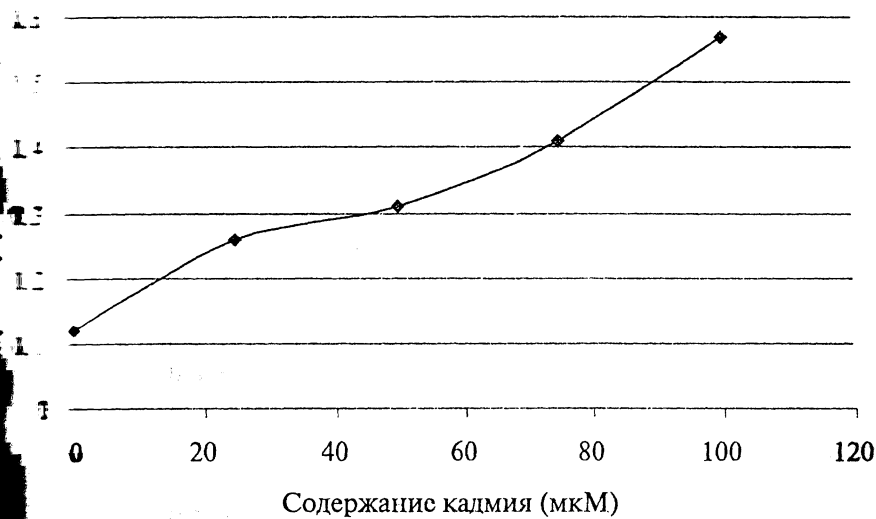
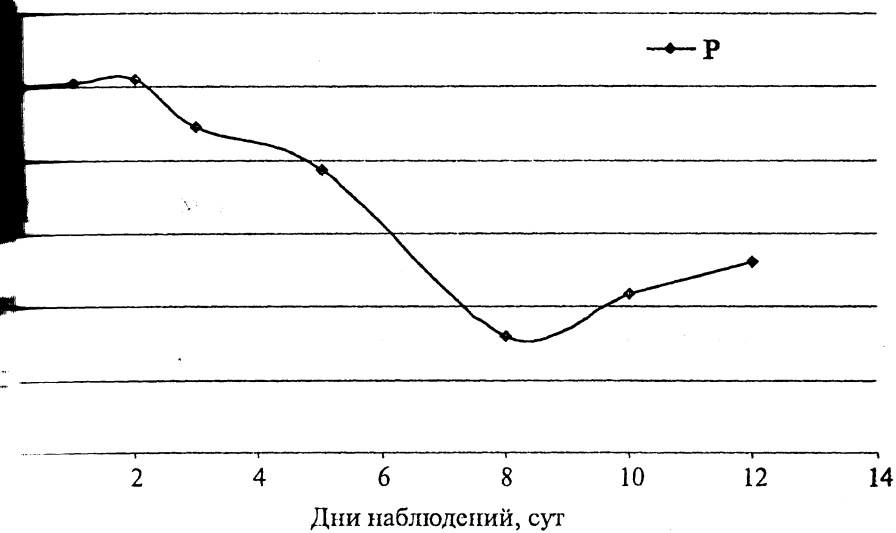


Рис. 5. Зависимость радиоемкости воды от дозы γ -облучения



Зависимость радиоёмкости от содержания кадмия



Зависимость радиоёмкости от энергии по показателю радиоёмкости для варианта облученного остро 20 Гр в среде 50 мкМ хлорида кадмия

Адаптация и применение теории радиоёмкости

Известно, что живые организмы очень чувствительны к возмущениям среды. В зависимости от того, являются ли они изменениями физических или биотических факторов. Прямые ухудшения среды могут выражаться для организмов в снижении способности к репродукции, гибели особей целых видов и разрушении сообществ, трофических цепей и деградации всего биоценоза. Степень разрушения, зависит от силы возмущающего фактора, а также от темпов ухудшения. Известно, что живые системы не являются пассивными перед лицом изменений окружающей среды, они проявляют значительную пластичность, т.е. могут изменять свою структуру и метаболизм таким образом, что в конечном итоге эти системы становятся для них частично или даже полностью безвредными. В таких случаях речь идет о способности организмов к адаптации, об их приспособляемости.

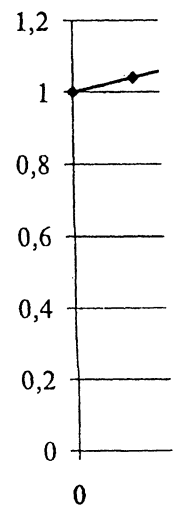


Рис. 8. Мера синергической фракционировано 20 фракционирования 6

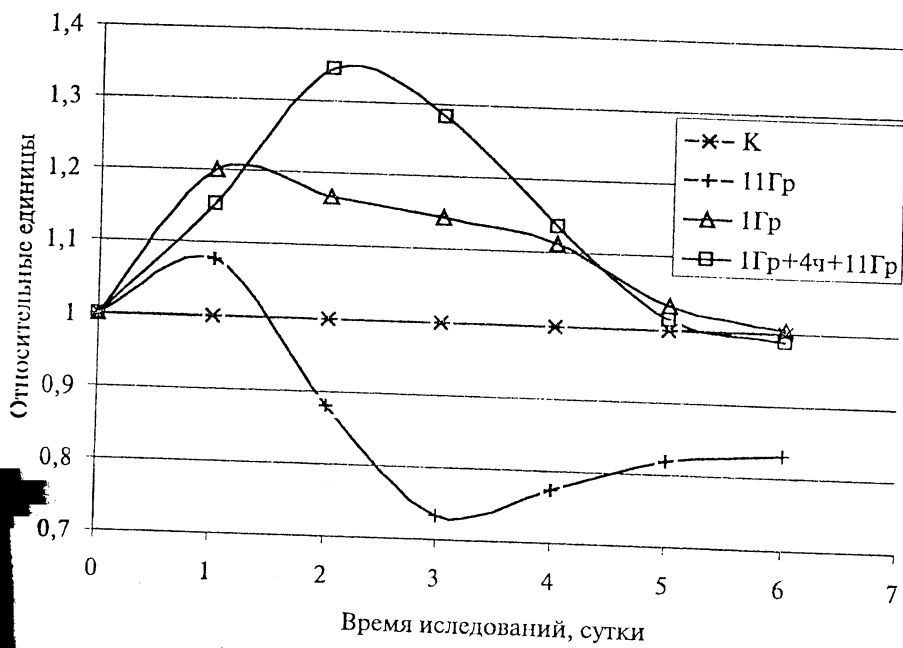
Изучение радиационной дозы проявляет острая доза. Малая интервал времени Δt в которой формируются радиоадаптационные механизмы индуцированная радиация. Предлагаем использовать в водной культуре куда добавлялся ^{137}Cs

На рис. 9 представлено. Мы определяли накопление трассера. Видно, что, при облучении биоты по отношению достигает значений (способность накапливать)

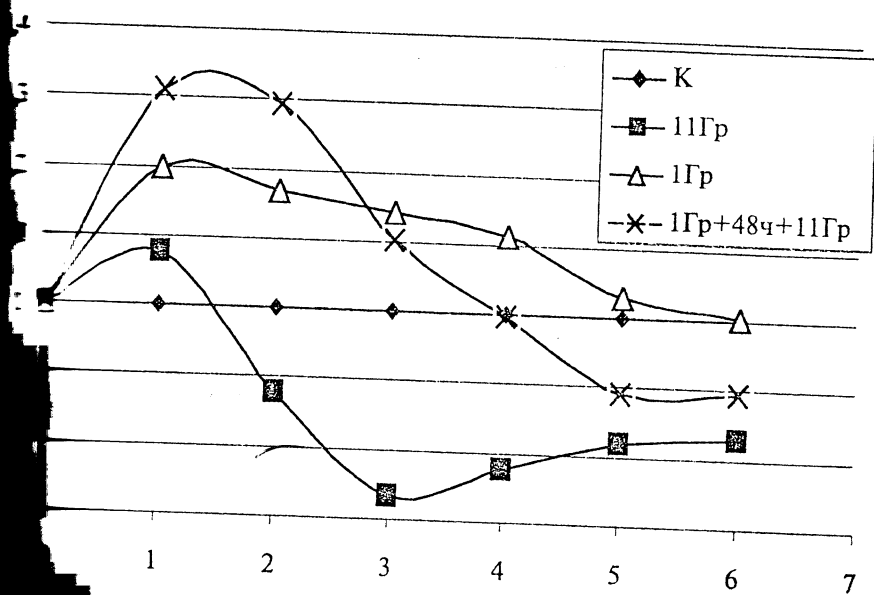
В варианте, где растения облучить с адаптацией.

Дальше мы исследовали интервала между

На рис. 10. представлено. Видно, что облучить острой тест. Максимум эффекта составил до 35 % от дышащем опыте: на



Зависимость фактора радиоемкости биоты от времени, в условиях облучения общей дозой 1Гр и тест-дозой гамма-излучения 11Гр с временным интервалом 4 часа относительно необлученного контроля)



Зависимость фактора радиоемкости биоты от времени, в условиях облучения общей дозой 1Гр и тест-дозой γ -излучения 11Гр с временным интервалом 48 часов относительно необлученного контроля)

Различные физиологические и радиобиологические эффекты в условиях загрязнения и действия химических поллютантов, важно изучать восстановительных процессов у растений и их вклад в формирование комбинированного действия стрессоров. Вклад процессов восстановления на воздействие факторов (γ -радиации, металлов), применялся метод фракционирования дозы острого

облучения и внесено в исследования биоты, что отображается параметром радиоемкости.

В экспериментальном факторе ответственным часом является облучение химическим взаимодействием.

Для исследования роли систем восстановления влияние на параметр радиоемкости.

На основе полученных данных взаимодействия факторов синергизма.

Установлено, что при комбинации

Теоретическое

Для исследования камер-лес, камер-озера, камер-бис

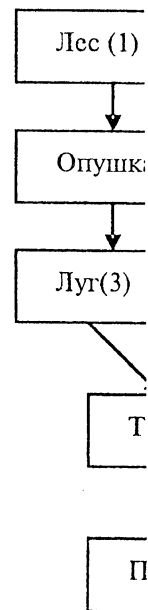


Рис. 11. Блок-схема

исследования и внесения в среду соли тяжелого металла (кадмия). В наших предыдущих исследованиях было показано, что эффект фракционирования облучения дозы хорошо отражается на характере динамики как ростовых параметров, так и в динамике индекса радиоемкости.

В эксперименте было проведено фракционирование радиационного и химического факторов. При этом соль хлорида кадмия вносили двумя порциями с соответствующим часовым интервалом между ними. Как и в случае облучения, фракционирование химического фактора производило значительное влияние на эффект взаимодействия исследуемых факторов.

В исследовании роли систем восстановления при комбинированном воздействии радиационного и химического факторов был проведен количественный анализ систем восстановления в эффектах взаимодействия разных факторов, через их влияние на параметры радиоемкости.

На основе предложенной теоретической модели проведена количественная оценка взаимодействия радиационного и химического факторов при помощи коэффициента синергизма. Его оценку провели через отношения факторов радиоемкости (рис. 7). Установлено, что процессы восстановления могут уменьшать эффект синергизма при комбинированном воздействии облучения и тяжелого металла.

Теоретические исследования радиэкологических процессов в склоновых экосистемах

Для исследования была выбрана типичная экосистема, что состоит из девяти камер: камера-лес, камера-опушка, камера-луг, камера-терраса, камера-пойма, камера-вода, камера-биота озера, камера-донные отложения озера, камера-человек (рис. 11):

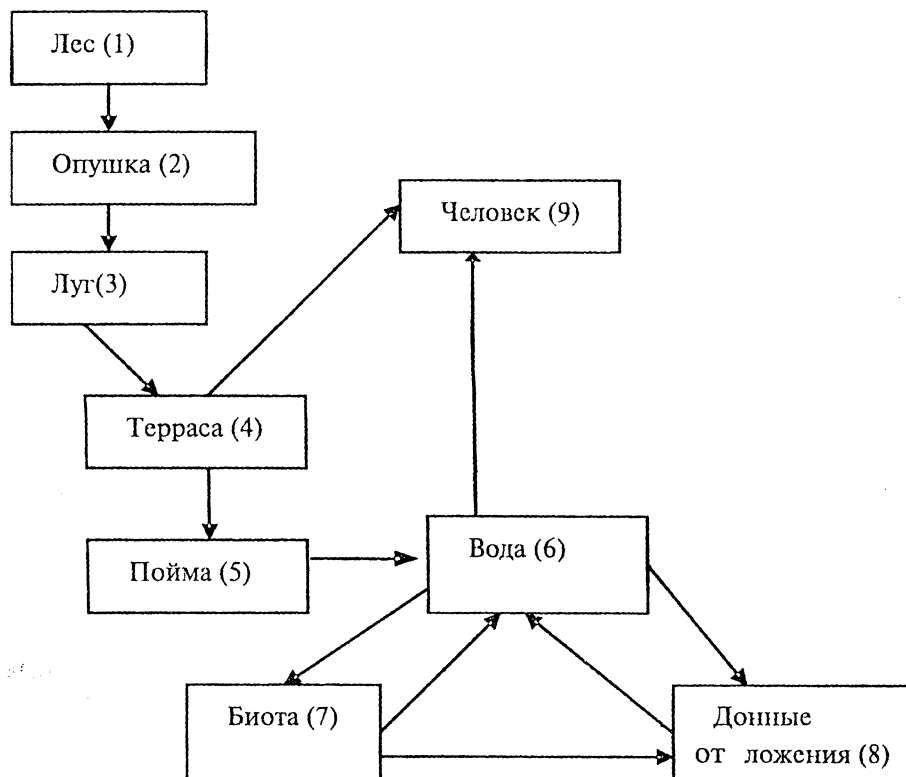


Рис. 11. Блок-схема типичной склоновой экосистемы

Перенос между камерами задается с помощью коэффициентов перехода α_{ij} из камеры i в другую за единицу времени в один год. Например, α_{67} — коэффициент перехода радионуклидов из камеры 6 (вода) в камеру 7 (биота). Коэффициенты α_{ij} выбраны по натурным исследованиям и зависят от крутизны склона, типа растительного покрова (лес, трава и т.д.), типа почвы (чернозем, дерново-подзолистая), объема стока, температуры воздуха, направления и силы ветра и других метеорологических параметров [6].

Средние и максимальные значения коэффициентов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты перехода радионуклидов из камеры в камеру

Числовые значения	Средние значения	Максимальные значения
0.01	0.03	0.05
0.05	0.1	0.15
0.1	0.15	0.2
0.1	0.2	0.3
0.2	0.3	0.4
0.3	0.5	0.7
0.03	0.05	0.07
0.4	0.6	0.8
0.04	0.07	0.1
0.03	0.05	0.07
0.2	0.4	0.6
0.05	0.1	0.15

Для расчета переноса радионуклидов из камеры в камеру в данном варианте выбраны средние значения коэффициентов. Перенос радионуклидов из одной камеры в другую происходит по законам кинетики первого порядка, его описывают системой простых дифференциальных уравнений.

Для системы из девяти простых дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами с учетом коэффициентов перехода радионуклидов с поправкой на их распад (8):

$$\dot{x} = -0,06x(t) \quad (8)$$

$$\dot{y} = 0,03x(t) - 0,13y(t)$$

$$\dot{z} = 0,1y(t) - 0,18z(t)$$

$$\dot{k} = 0,15z(t) - 0,63k(t)$$

$$\dot{l} = 0,2k(t) - 0,33l(t)$$

$$\dot{n} = 0,3l(t) + 0,05o(t) + 0,07p(t) - 1,23n(t)$$

$$\dot{o} = 0,5n(t) - 0,13o(t)$$

$$\dot{p} = 0,05o(t) + 0,6n(t) - 0,1p(t)$$

$$\dot{m} = 0,4k(t) + 0,1n(t) + 0,03m(t)$$

где переменные $x, y, z, k, l, n, o, p, m$ — динамические удельные активности радионуклидов в камерах: лес, опушка, луг, терраса, пойма, вода, биота, донные отложения и человек, t — время.

Решив систем

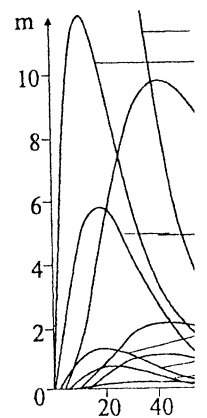


Рис. 12. Распределение активности радионуклидов для камер склона

1 — камера-лес, 2 — камера-опушка, 3 — камера-луг, 5 — камера-донные отложения, 6 — камера-терраса, 8 — камера-пойма

Для камеры 7 (биота) и других камер даны свои значения активности.

Таблица 2. Накопление радионуклидов в камерах общего запаса в э

Камеры
Опушка
Луг
Терраса
Пойма
Вода
Биота
Донные отложения
Человек

Как видно из рис. 12, активность радионуклидов в ре-опушке леса и выброса, и в воде (0.32% на 30-ый год) сводится практически к нулю. Здесь верхний пик активности радионуклидов — человек — ка за ней идет терраса, пойма, луг, биота, донные отложения, вода, лес, опухка. Пик можно ждать

Теоретический анализ радиоемкости ландшафтов

...ведения поллютантов в склоновых экосистемах, составляющих ос-
...любого наземного ландшафта, показал возможность описания
...и перераспределения радионуклидов методами теории радиоемкости,
...камерных моделей. Исследования показывают, что скорость пе-
...радионуклидов в ландшафте определяется, в основном, несколькими
...ами: крутизна склона (P1), вид покрытия (P2), расчлененность ланд-
...ртикальная (P4) и горизонтальная миграция (P5). Методами ранговой
...проведена оценка вероятности влияния этих показателей ландшафта на
...ение радионуклидов. Каждый из показателей оценивается от 0→1. В
...ности показателей ландшафта, общая оценка вероятности миграции
...элементам ландшафта определяется как свернутая вероятность и
...формуле $P = P1 \times P2 \times P3 \times P4 \times P5$ [5].

...ему представляют реальные ландшафты, когда оценки параметров
...рассеиваются к большим территориям, где действуют системы факторов,
...перераспределение радионуклидов по биотическим и абиотическим
...экосистем. Определены главные факторы влияния на параметры радио-
...крутизна склонов, вид растительного покрытия поверхности, скорости стока,
...одно из натуральных исследований процессов движения радионуклидов
...системам и процессов эрозии почв при действии поверхностного стока,
...ность стока резко возрастает с крутизной склона. По нашим оценкам и
...ным, при величине крутизны склона в 1° - 3° вероятность стока за год
...от запаса на данном участке склона, а при крутизне склона в 25° - 30°
...радионуклидов и других поллютантов может достигать 0,7-0,9.

...использованием технических возможностей программного продукта ESRI
...разработана модельно-аналитическая ГИС, которая позволяет ана-
...проводить прогнозы миграции загрязняющих веществ в экосистемах.
...основой данной ГИС является разработанная нами математическая
...веществ-загрязнителей в экосистемах. Основными информацион-
...ными данной модели являются физико-химические и биохимические
...веществ-загрязнителей, а также природные и антропогенные условия
...среды. Анализ исходных данных позволяет нам выйти на ключевые блоки
...показатели скоростей вноса и выноса загрязнителей в экосистемах.

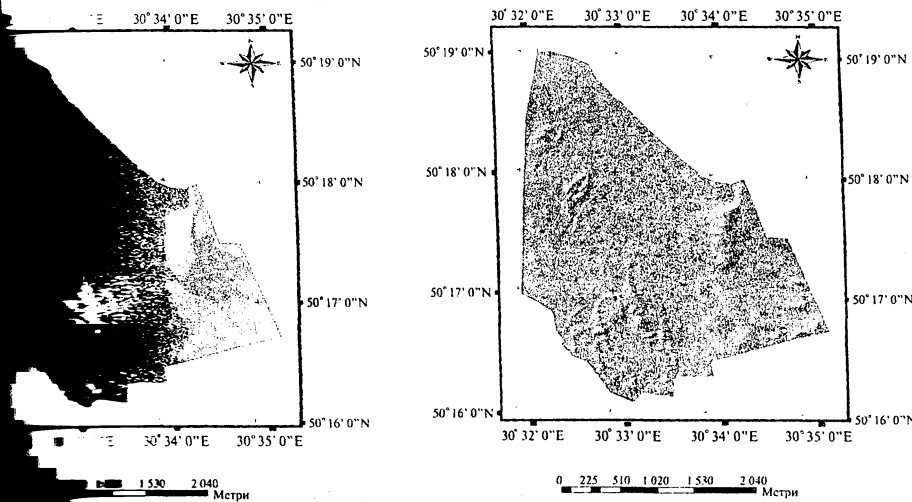


Рис. 15. Остров радиоемкости
(Конче-Заспа, Киев)

Рис. 15. Карта рельефа полигона
«Лесники» (Конче-Заспа, Киев)

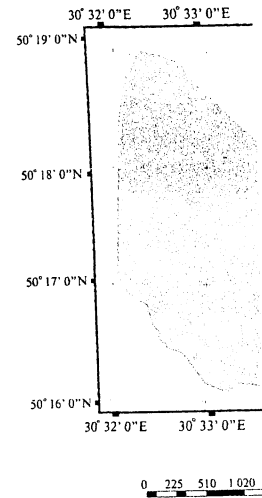


Рис. 16. Исходно
«Лесники» (Конча

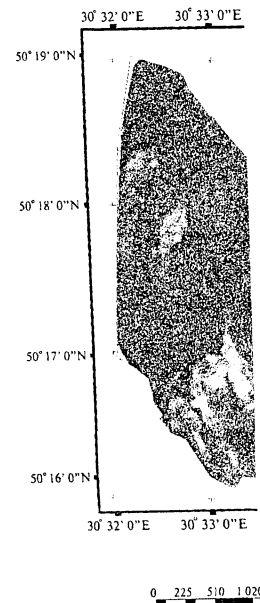


Рис. 18. Распреде-
полигона «Лесники»
Киев) 20 лет спустя п

В результате п
на – заказник «Лес
показаны карты р
льефа. Использу
ландшафте, мы по
 ^{137}Cs (рис. 16), и к
(рис. 17). Процесс
должен усилиться

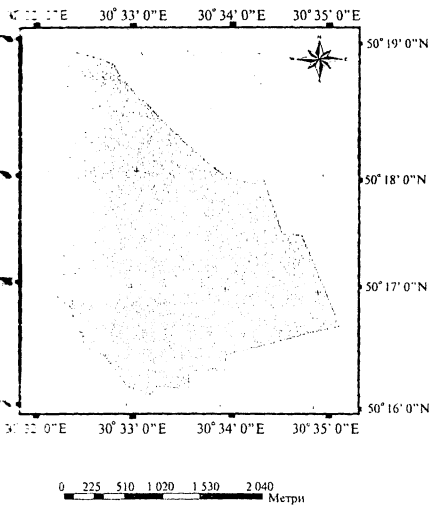


Рис. 16. Исходное загрязнение «Лесники» (Конча–Заспа, Киев)

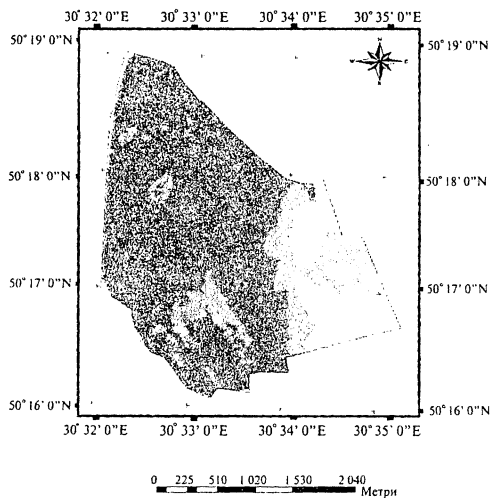


Рис. 17. Распределение ^{137}Cs на полигоне «Лесники» (Конча–Заспа, Киев) (10 лет спустя после аварии)

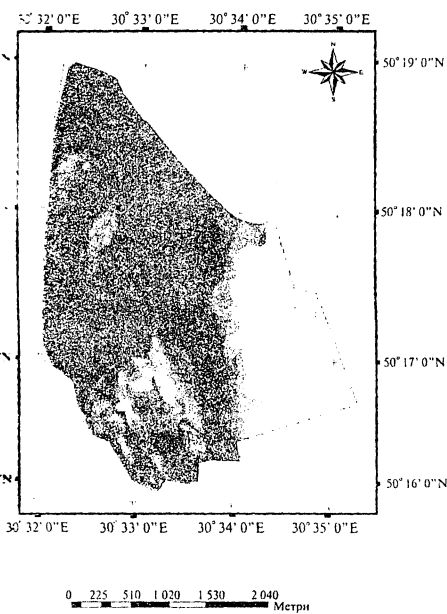


Рис. 18. Распределение ^{137}Cs на полигоне «Лесники» (Конча–Заспа, Киев) 20 лет спустя после аварии

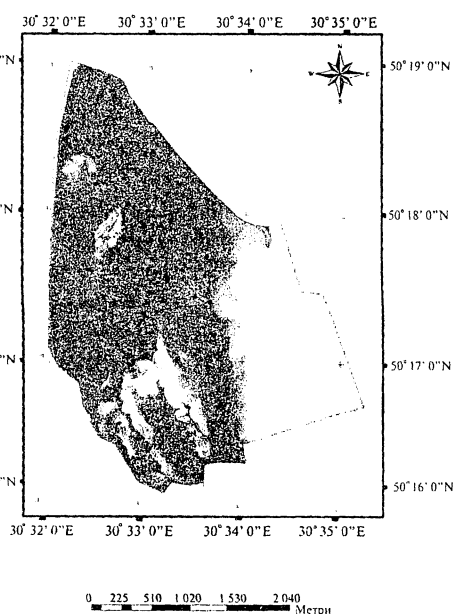


Рис. 19. Распределение ^{137}Cs на полигоне «Лесники» (Конча–Заспа, Киев) 30 лет спустя после аварии

В результате получены оценочные и прогнозные карты для выбранного полигона – заказник «Лесники» в Конча-Заспе возле Киева, на берегу реки. На рис. 12–15 показаны карты радиоемкости ландшафта исходного полигона и структуры его рельефа. Используя параметры, управляющие перераспределением радионуклидов в ландшафте, мы построили карту исходного равномерного загрязнения ландшафта ^{137}Cs (рис. 16), и карту перераспределения радионуклидов через 10 лет после аварии (рис. 17). Процесс ожидаемого через 10 лет перераспределения поллютанта (рис. 17), должен усилиться через 20 лет (рис. 18), а через 30 лет после аварии прогнозная карта

...енное концентрирование радионуклидов в зонах пониже-

...рогнозных карт, разработанная нами методика предостав-
... реконструкцию процесса загрязнения территории, а
...ных замеров, полученных в полевых условиях, осущест-
...казателей загрязнения на весь район исследований.

ВЫВОДЫ

...и теория радиоемкости экосистем позволила адекватно опи-
... миграции и распределения радионуклидов для разных типов
... суши. Теория и модели радиоемкости позволяют строго опи-
... элементы экосистемы, где следует ожидать временного или
... радионуклидов.

... дозовых нагрузок на экосистемы и их элементы удалось оце-
... концентрации радионуклидов (экологические нормативы), выше
... заметного влияния на структуру, биологические характерис-
... емкости экосистем.

... перераспределения радионуклидов-трассеров в разных типах
... те моделями радиоемкости, позволили на основе экологичес-
... определить предельно-допустимые сбросы и выбросы радионук-
... ды экосистем.

... бранных экосистемах (пруд, водоем-охладитель, лес и т.д.)
... предельно-допустимый сброс и выброс радионукли-
... делается не только и не столько исходным радионуклидным
... системы, сколько динамикой перераспределения радионуклидов и
... параметрами радиоемкости экосистемы.

... мый метод определения экологически обоснованных предельно-до-
... ственных загрязнений экосистем и их компонентов может служить
... основой для системы экологического нормирования сбросов и выбро-
... тотантов в окружающую среду.

... на основе применения биогенных трассеров позволяет в рамках
... теи радиоемкости одновременно оценивать процессы миграции ра-
... определять дозовые нагрузки на биоту экосистем, и устанавливать
... те параметры скоростей перераспределения радионуклидов и других
... в любых типах экосистем.

... сь на локальные модели и теорию радиоемкости элементов ландшафта,
... ти метод применения аналитической ГИС-технологии для оценки и
... распределения поллютантов в реальных ландшафтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

...орогодин В.И. // Мед. радиология. 1960. № 1. С. 67-73.

... Ю.А., Поликарпов Г.Г., Корогодин В.И. // Эвристичность радиобиологии: Киев:
... 1998. С. 109-115.

... С.А., Кольцова Е.Ю., Кутлахмедов Ю.А. // Збірник наук. праць Інституту ядерних
... 2004. № 2 (13). С. 96-104.

...едов Ю.А., Корогодин В.И., Кольтовер В.К. Основы радиоэкологии. Киев: Вища шк,
... с.

...едов Ю.А., Д.М. Гродзинский, А.Н. Михеев, В.В. Родина. Методы управления
...костью: Методическое пособие. Киев: КГУ, 2006 г. 172 с.

6. Кутлахмедов Ю.А.
Долгосрочные рад
Киев: МЕДЭКОЛ,

THEORY /

Yu.A. Kutlakh

¹Institut

On theoretical
application of a met
radiocapacity are sub
(on modelling ecosy
(slope's) of ecosyst
investigated. Radioc
biota of ecosystems,
parameter of radioca
of influence are rece

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЕДЕНИЯ

Факультет

Излагаются г
дения радио
мированию е
к работе по
качестве при
троения мод
лиственного

Радиоэколог
поведение р.

*Адресатд
факультет почвовед

7. *Кутлахмедов Ю.А.* Медико-биологические последствия Чернобыльской аварии. Ч.1. Долгосрочные радиозэкологические проблемы Чернобыльской аварии и контрмеры. - Киев: МЕДЭКОЛ, 1998. 172 с.

THEORY AND MODELS OF RADIOCAPACITY IN MODERN RADIOECOLOGY

Yu.A. Kutlakhmedov*¹, V.I. Korogodin², V.V. Rodina¹, I.V. Matveeva³, V.P. Petrusenko³, A.G. Salivon¹, A.N. Lenshina¹

¹*Institute of cell biology and genetic engineering NAS, Kiev, Ukraine*

²*Joint institute of nuclear researchs, Dubna, Russia*

³*National avian university, Kiev, Ukraine*

On theoretical models, in accounts and in experimental researches the results of application of a method of study of a condition ecosystems on reactions of parameters of radiocapacity are submitted, is artificial entered in ecosystem - tracer (¹³⁷Cs). In experiments (on modelling ecosystem-water culture of plants of corn), in mathematical models linear (slope's) of ecosystem and on real landscapes their parameters of radiocapacity were investigated. Radiocapacity - limiting quantity of radionuclides, which can be deposited in biota of ecosystems, without its defeat and oppression. On different types of ecosystems, on a parameter of radiocapacity biota and till it growth's to parameters, the comparative estimations of influence are received on biota γ -radiation, salt of heavy metal -Cd and their combination.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

С.В. Мамихин*, Д.В. Манахов

Факультет почвоведения Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва

Излагаются пути возможного развития имитационного моделирования поведения радионуклидов в наземных экосистемах. Предлагаются меры по формированию единого информационного поля в данной области и привлечению к работе по этому научному направлению молодых ученых-радиозэкологов. В качестве примера инновационного подхода рассматривается алгоритм построения модели посуточной динамики содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в экосистеме лиственного леса.

Радиозэкология, имитационное моделирование, информационные системы, поведение радионуклидов, наземные экосистемы

*Адресат для корреспонденции: 119992, Москва, Воробьевы Горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, факультет почвоведения; тел.: (495) 939-50-09; e-mail: SVMamikhin@mail.ru