

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЕМКОСТИ ЭКОСИСТЕМ

Ю. А. Кутлахмедов¹, С. А. Пчеловская¹, Е. Ю. Кольцова²¹ *Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев*² *Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев*

Предложен новый подход к оценке состояния биоты экосистемы - по поведению параметра радиоемкости. Радиоемкость определяется как предельное количество радионуклидов, которое по своему дозовому воздействию еще не способно нарушить основные функции биоты: способность сохранять биомассу и кондиционировать среду обитания. Построены модели радиоемкости экосистем и предложены параметры, способные адекватно реагировать на воздействие разных факторов (γ -облучения, тяжелых металлов). По результатам проведенных экспериментов предложенные параметры оказались способными четко отображать влияние факторов на биоту и опережать по своим реакциям биологические ростовые показатели. Показано, что реакция параметров радиоемкости может служить в качестве экологического термометра, измеряющего состояние и благополучие биоты, и быть мерой для эквидозиметрической оценки влияния радиационного и химического факторов. Разработаны модель и параметр для оценки синергизма действия комбинированных факторов. Показано, что в динамике роста биоты в экосистемах характер взаимодействия разных факторов меняется от синергизма до антагонизма. Показана ведущая роль процессов восстановления при действии на биоту радиационного и химического факторов.

1. Введение

Для характеристики состояния и действия разных факторов на биоту в экосистемах используют до 30 различных показателей. Среди них основные - биоразнообразие, биомасса, численность и скорость размножения [1]. Известно, что такие показатели реагируют на негативные факторы среды с большим опозданием, когда состояние биоты в экосистеме необратимо ухудшается. Существует необходимость найти такой показатель и меру благополучия биоты, который бы опережал по своим ответам реакцию биологических ростовых показателей и позволял бы оперативно оценивать состояние биоты. Исследования поведения радионуклидного трассера ^{137}Cs и параметров радиоемкости по этому трассеру позволили предложить проведение оценки состояния биоты в экосистеме по реакции и изменениям показателей радиоемкости [2]. Опыты проводились на водных культурах растений - максимально упрощенных моделях растительных экосистем. Известно, что состояние биоты в экосистеме может быть охарактеризовано через ее способность поглощать питательные вещества, в частности калий, который участвует во всех физиологических реакциях. Поэтому динамика поглощения растениями искусственно введенного в биоту трассера ^{137}Cs , который является аналогом макроэлемента питания - калия, может отображать благополучие биоты экосистемы.

После Чернобыльской аварии такой трассер является неизбежным спутником в жизни биологических объектов практически всех экосистем Украины. Исследования показали, что распределение и перераспределение данного трассера в водных и наземных экосистемах четко реагирует на все существенные внешние влияния (климат, паводки, контрмеры и т.п.), а также на разные типы загрязнителей (тепловые сбросы, дозы облучения, химические поллютанты и т.п.) [3]. При этом было показано, что ни одно существенное влияние на экосистему не может не отразиться на распределении трассера и на параметрах радиоемкости по нему. Такой подход, развиваемый в наших исследованиях, позволит, по нашему мнению, применить параметры радиоемкости для эквидозиметрической унифицированной оценки действия самых разных факторов на биоту экосистем. На этой основе нами предложен метод экологического нормирования для определения допустимых уровней воздействия поллютантов на биоту экосистем [4].

2. Теория и модели радиоемкости разных экосистем

В качестве подхода к оценке состояния и качества экосистем предлагается новый теоретический подход - теория радиоемкости, активно развиваемая нами в последние годы. Суть теории и метода, вытекающего из нее, базируется на следующих экспериментальных и теоретических основаниях и предположениях [3, 7]:

1. Радиоемкость экосистемы - это фундаментальное свойство экосистем, их способность переносить по трофическим цепям, накапливать и концентрировать в биомассе различные радионуклиды, попавшие в окружающую среду, без заметных последствий для экосистемы.

2. Количественно радиоемкость экосистемы определяет то максимальное количество радионуклидов, которое может накапливать и удерживать в биоте экосистема и при этом не повреждать ее основных функций: рост и сохранение биомассы биоты в экосистеме и кондиционирование среды обитания.

Понятие о радиоемкости, а точнее, о факторе радиоемкости, было впервые введено Агрэ и Корогодиным [5]. Фактор радиоемкости был определен как доля радионуклидов от общего количества, попавших в экосистему, которая удерживается в каждом из компонентов экосистемы (косных и биотических). Понятие радиоемкости было нами расширено и было введено несколько дополнительных определений [6, 7].

Радиоемкость - фундаментальное свойство экосистем, определяющее то предельное количество радионуклидов (K и или B к), которое может стабильно удерживать биота экосистемы без повреждения (изменения) своих основных функций (рост, прирост биомассы биоты и кондиционирование среды обитания).

Фактор радиоемкости - определяет долю радионуклидов, удерживаемых в биотических и абиотических компонентах экосистемы. На примере озерной экосистемы можно отметить, что свое значение фактора радиоемкости имеет каждый компонент экосистемы: вода, донные отложения, биота водоема. Была построена модель и выведена следующая формула для расчетов фактора радиоемкости водоемов [5]:

$$F = \frac{kh}{H + kh}, \quad (1)$$

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 радиоемкости" водоема. Этот фактор не зависит от концентрации радионуклидов в воде C на большом интервале значений и позволяет рассчитывать степень загрязнения воды водоема, если известны количество поступивших в него радионуклидов и площадь его поверхности.

Фактор радиоемкости биотической составляющей водоема можно оценить по формуле

$$F_b = \frac{PKH}{H + kh + PKH}, \quad (2)$$

где P - плотность биомассы в единице объема; K - коэффициент накопления "вода - биота".

Если, для примера, рассчитать F_b для реальной ситуации, когда P составляет 10 г/м^3 , средний коэффициент накопления $K = 10^4$, средняя глубина водоема $H = 6 \text{ м}$, $h = 0,1 \text{ м}$, $k = 800$, то мы получим значение радиоемкости F_b , близкое к $0,9$, когда практически все поступившие в водоем радионуклиды попадают в биомассу биоты [7]. При отмирании биоты или десорбции радионуклидов-трассеров они переходят в воду и донные отложения.

Если экосистема состоит из двух камер - биота и вода, то формула радиоемкости для биоты и воды упростится:

$$F_6 = \frac{PK}{1+PK}, \quad F_6 = \frac{1}{1+PK}. \quad (2a)$$

Рассмотрим каскад из нескольких водоемов, каждый из которых характеризуется своими параметрами $k_1, k_2, k_3, \dots, H_1, H_2, H_3, \dots, S_1, S_2, S_3, \dots, p_1, p_2, p_3, \dots, K_1, K_2, K_3, \dots$. Предположим наиболее простой случай равного объема всех водоемов и медленного притока воды, достаточного для установления равновесия между водой, биотой и донными отложениями. Тогда для каждого из водоемов можно по формулам (1) и (2) оценить значения радиоёмкости F_1, F_2, F_3 этих водоемов. Нетрудно вывести формулу общей радиоёмкости всего каскада из n водоемов:

$$F_k = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i). \quad (3)$$

Анализ этой формулы показывает, что чем большее число водоемов задействовано в каскаде, тем выше его радиоёмкость. Общая радиоёмкость каскада всегда выше, чем радиоёмкость самого лучшего из входящих в него водоемов.

Нами разработаны и построены модели для оценки параметров радиоёмкости разных типов экосистем – наземных, водных, лесных, горных, луговых и городских экосистем [7]. Полагаем, что такой универсальный подход к моделированию радиоёмкости разного типа экосистем позволяет универсальным образом описывать самые разные экосистемы, а значит, и сравнивать их по этим показателям.

3. Параметр радиоёмкости как опережающий показатель состояния биоты экосистем

3.1. Теоретический анализ предлагаемого подхода

Рассмотрим проблему радиоёмкости 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.)

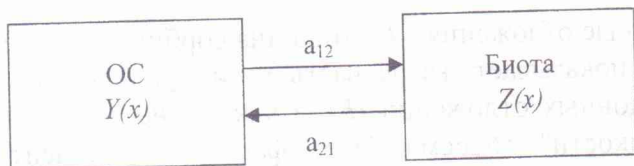


Рис. 1. Блок-схема простой камерной модели экосистемы.

Итак, имеем две камеры (рис. 1), содержащие $Y(x)$ и $Z(x)$ радионуклидов, со временем x ; a_{12} – скорость поглощения радионуклидов трассеров (и пропорционально этому скорости поглощения питательных веществ, например калия) и a_{21} – скорость их оттока в среду (в воду).

Предположим, что исходный запас радионуклидов трассеров в камере $Y(x)$ составляет Y_0 Бк (^{137}Cs). Решение системы двух дифференциальных уравнений для данной камерной модели дает:

$$Y(x) = \frac{Y_0}{a_{12} + a_{21}(a_{21} + a_{12} \exp[-(a_{12} + a_{21})x])}, \quad (4)$$

$$Z(x) = \frac{Y_0 a_{21}}{a_{12} + a_{21}(1 - \exp[-(a_{12} + a_{21})x])}.$$

При больших временах наблюдения по уравнениям (4) можно оценить факторы радиоёмкости для воды и биоты следующим образом:

$$F_6 \cong \frac{a_{12}}{a_{21} + a_{12}}, \quad F_6 \cong \frac{a_{21}}{a_{12} + a_{21}}. \quad (5)$$

Сравнивая уравнения (2), (2а) и (5) можно показать, что

$$\frac{a_{12}}{a_{21}} = PK = \frac{F_{\sigma}}{F_{\sigma}} = \frac{1 - F_{\sigma}}{F_{\sigma}} \quad (6)$$

Таким образом, соотношение скоростей поглощения и оттока трассеров и элемента минерального питания калия пропорционально биомассе биоты и коэффициенту накопления в системе "вода - биота". Это означает, что чем выше биомасса и коэффициент накопления трассера биотой, тем лучше состояние биоты и тем выше соотношение скоростей поглощения и оттока трассера, а значит, и питательных элементов из воды в биомассу биоты. Здесь отчетливо видна четкая связь показателей радиоемкости по трассеру и биологических показателей - скоростей поглощения и оттока трассеров и питательных элементов. Достаточно, чтобы под влиянием стресс-факторов (радиация, тяжелые металлы и др.) произошло уменьшение K - коэффициента накопления (вода - биота), чтобы при этом изменились параметры радиоемкости. Если при этом под влиянием поллютантов уменьшаются и биологические показатели - биомасса, скорость роста биомассы, то последует еще большее изменение показателей и параметров радиоемкости.

Проанализируем поведение параметров радиоемкости по трассеру во времени. Для оценки состояния биоты экосистемы можно тестировать как фактор радиоемкости биоты F_{σ} , так и фактор радиоемкости воды F_{σ} (2). Удобнее тестировать экосистему по изменениям фактора радиоемкости воды F_{σ} , который просто определять по остаточной радиоактивности трассера в водной среде. Продифференцируем формулу (2) как

$$\frac{dF_{\sigma}}{dt} = \frac{P \frac{dK}{dt} + K \frac{dP}{dt}}{(1 + PK)^2} \quad (7)$$

Видно, что если под действием радиации и/или других факторов среды (например, тяжелых металлов) в экосистеме будут происходить существенные эффекты, то они прежде всего выразятся в изменении P и/или K , что автоматически скажется на изменении F_{σ} и, особенно, на поведении ее производной. Таким образом, у нас есть четкие предпосылки предлагать исследование изменения F_{σ} (фактора радиоемкости воды в экосистеме) как опережающего показателя состояния и реакции биоты экосистемы на действие различных факторов.

3.2. Экспериментальная проверка возможности использования фактора радиоемкости как опережающего параметра для оценки реакции биоты на действие различных поллютантов

С целью изучить возможность использования показателя радиоемкости растительной экосистемы в качестве характеристики ее состояния, а также для прогнозирования изменений его под влиянием внешних воздействий было спланировано и поставлено серию экспериментов. В качестве объекта исследований было выбрано упрощенную модель растительной экологической системы - водную культуру растений кукурузы. Трехдневные проростки растений кукурузы (проращивали в термостате при температуре 23 °С) облучались на кобальтовой γ -установке "Исследователь" в дозе 15 Гр, после чего высаживались на 0,5-литровые банки с водой, которая служила им питательной средой. В воду всех опытных вариантов был внесен трассер - радиоактивный ^{137}Cs . В определенные варианты добавлялся раствор соли CdCl_2 . Параллельно высаживался на воду с трассером и контрольный вариант, необлученные растения которого не подвергались влиянию CdCl_2 . В ходе эксперимента (в течение 14 дней) регулярно проводился отбор проб воды для определения остаточной активности по содержанию трассера в ней. Параллельно измерялась длина главного корня проростков.

В результате были получены временные зависимости для показателей радиоемкости модельной системы и для характеристик ростовых процессов.

Результаты исследования, представленные на рис. 2, показывают, что однократное острое γ -облучение проростков кукурузы в дозе 15 Гр и внесение в среду обитания/питания слаботоксичной концентрации соли кадмия (50 мкмоль/л), оказывают угнетающее действие на динамику роста корней растений. Видно, что ростовые характеристики растений, подвергавшихся влиянию $CdCl_2$, ниже, чем для контроля приблизительно на 40 %.

Следовательно, нужно ожидать и ухудшения характеристики поглотительной способности растений – показателя радиоемкости по трассеру. Динамика фактора радиоемкости воды как компонента предложенной упрощенной системы представлена на рис. 3. Здесь показано, что растения контрольного варианта к концу опыта поглощают почти все количество внесенного в воду радионуклида-трассера: кривая 1, характеризующая процентное содержание ^{137}Cs в воде, на пятые сутки приближается к нулю. Растения опытных вариантов поглощают до 55 % активности, внесенной в среду.

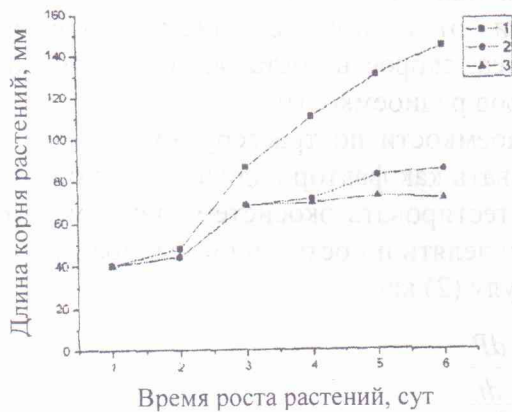


Рис. 2. Влияние однократного острого γ -облучения проростков кукурузы в дозе 15 Гр и внесения $CdCl_2$ в концентрации 50 мкмоль/л на динамику роста корней водной культуры: 1 - контроль; 2 - облучение 15 Гр; 3 - внесение 50 мкмоль/л $CdCl_2$.

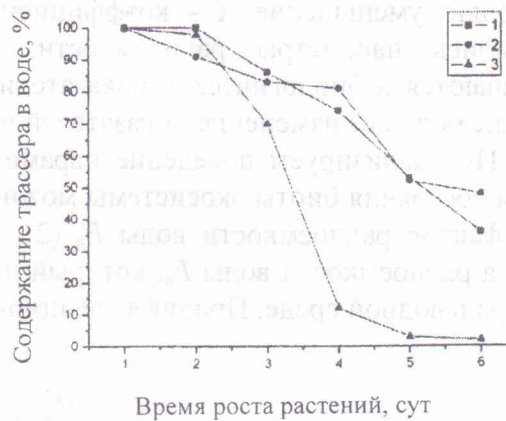


Рис. 3. Динамика изменения содержания трассера в воде: 1 - внесение 50 мкмоль/л $CdCl_2$; 2 - острое облучение проростков в дозе 15 Гр; 3 - контроль.

Видно, что влияние двух разных факторов, таких как γ -радиация и тяжелый токсический металл, создают приблизительно равный биологический эффект по подавлению роста корней и уменьшению фактора радиоемкости растений. Наблюдается однозначное угнетение токсикантами радиоемкости биоты экосистемы, которое выражается в угнетении ее ростовых характеристик, адекватно отображающегося в уменьшении такого экологического показателя, как фактор радиоемкости биоты.

3.3. Исследование поведения параметров радиоемкости при действии на биоту различных стресс-факторов

Для проверки адекватного реагирования параметра радиоемкости, как характеристики состояния растительной системы, на воздействие негативных факторов была проведена серия экспериментов с применением радиационного и токсического факторов. Выбранные для эксперимента проростки водной культуры растений кукурузы подвергались острому γ -облучению в дозах 5, 10, 20 и 40 Гр. Растения других четырех вариантов подвергались действию токсиканта: в водную среду обитания добавлялась соль $CdCl_2$ в концентрациях 22, 44, 78 и 100 мкмоль/л. Растения всех вариантов одновременно высаживались на воду с внесенным в нее трассером ^{137}Cs . На следующий день производились отборы проб воды всех вариантов для определения остаточной активности по ^{137}Cs . В результате были получены зависимости параметра радиоемкости воды от концентрации кадмия и дозы облучения (рис. 4 и 5).

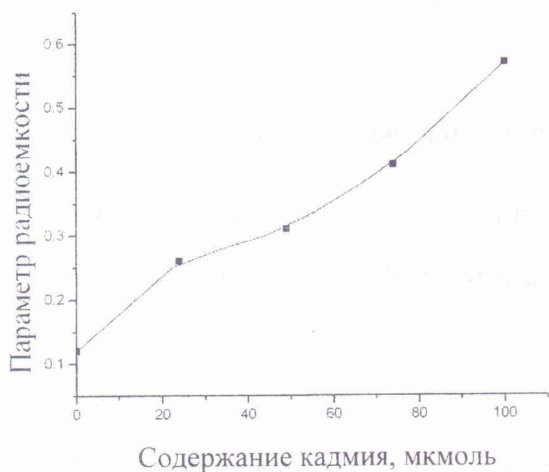


Рис. 4. Динамика изменения фактора радиоёмкости воды в зависимости от вносимой концентрации кадмия.

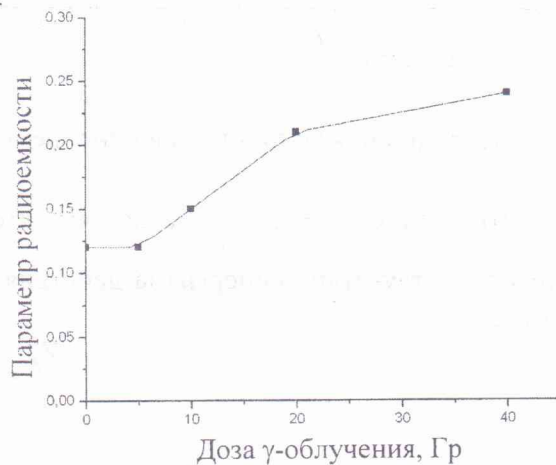


Рис. 5. Динамика изменения фактора радиоёмкости воды в зависимости от дозы предварительного облучения растений.

Видно, что под действием выбранных факторов, с увеличением применяемой дозы облучения или вносимой концентрации кадмия, радиоёмкость воды увеличивается, а значит, радиоёмкость биоты уменьшается. Доказательство благополучия и жизнеспособности экосистемы, в широком смысле, говорит об ее высокой радиоёмкости и наоборот. С другой стороны, высокая радиоёмкость и стабильно высокие значения фактора радиоёмкости биоты говорят о благополучии и надежности экосистемы. Контроль радиоёмкости и фактора радиоёмкости, особенно после изменения вследствие воздействия, может служить в качестве объективного опережающего критерия и метода оценки благополучия любой экосистемы (водной, лесной, материковой).

4. Оценка синергизма действия разных факторов на биоту модельной экосистемы через поведение параметра радиоёмкости по трассеру

4.1. Модель оценки синергизма при действии нескольких факторов через параметр радиоёмкости

Вопрос комбинированного воздействия различных факторов среды на экосистему уже обсуждался в литературе [8, 9]. В данной статье предложена новая модель оценки синергизма действия нескольких факторов.

Проанализируем возможное влияние разных факторов (радиации – γ -облучения и химического фактора – внесения соли тяжелого металла кадмия) на параметр радиоёмкости данной упрощенной экосистемы. Речь идет об определении меры количественной оценки синергизма или антисинергизма действия разных факторов на биоту экосистемы.

Допустим, что в контроле процессы поглощения и сбрасывания радионуклида биотой проходят со скоростями a_{12} и a_{21} соответственно. Отношение этих скоростей обозначим как

$$Z = \frac{a_{12}}{a_{21}}.$$

Легко предположить, что под влиянием одного из факторов (γ -облучения) скорость накопления трассера a_{12} изменится (уменьшится) в b раз ($b < 1$), а a_{21} изменится (увеличится) в c раз ($c > 1$), т. е. скорость накопления $a_1 = a_{12}b$, а скорость оттока $a_2 = a_{21}c$.

$$\text{Тогда } Z_1 = Z_0 \frac{b}{c}.$$

Для оценки влияния внесения соли кадмия предположим, что скорость накопления трассера a_{12} изменится при этом в d раз ($d < 1$), а a_{21} изменится в e раз ($e > 1$), т. е. скорость накопления $a_1 = a_{12}d$, а скорость оттока $a_2 = a_{21}e$.

$$\text{Тогда } Z_2 = Z_0 \frac{d}{e}.$$

Нетрудно показать, что при одновременном применении двух факторов $Z_3 = Z_0 \frac{b d}{c e}$.

Отношение $Z_3 = Z_0 \frac{b d}{c e}$ задает характеристику поведения параметров радиоемкости для условий отсутствия синергизма действия разных факторов. В общем случае отношение имеет вид

$$\frac{Z_3}{Z_0} = \frac{b d}{c e} p, \quad (8)$$

где p – новый параметр, который задает степень синергизма. Определяли коэффициент синергизма как

$$p = \frac{Z_{Cd+обл}}{Z_{Cd} \cdot Z_{обл}} \cdot Z_0, \quad (9)$$

где Z_0 – отношение факторов радиоемкости биоты контрольного варианта; $Z_{Cd+обл}$ – отношение при комбинированном воздействии радиации и токсического металла; Z_{Cd} и $Z_{обл}$ – отношения для независимых влияний каждого из факторов. Если $p = 1$, то понятно, что никакого синергизма в действии разных факторов на параметры радиоемкости нет. Если $p < 1$, то это может свидетельствовать о существенном вкладе синергизма, т. е. усиления действия двух факторов в сравнении с действием отдельно каждого из этих факторов. Если же $p > 1$, то мы имеем дело с антисинергизмом, т.е. с явлением, когда первый фактор уменьшает негативное действие второго или наоборот.

Таким образом, нами разработана схема и введен параметр для оценки степени синергизма разных факторов через вышеупомянутый коэффициент p .

4.2. Эксперименты по синергизму и восстановлению

Использовался анализ значения параметра p для оценки синергизма по данным экспериментов, в котором на острое облучение проростков кукурузы (30 Гр) накладывалось влияние токсического фактора. Растения проращивались и обучались описанным выше способом и высаживались на воду с трассером ^{137}Cs . Затем в воду добавляли соль кадмия в концентрации 50 мкмоль/л, но в разных режимах: одномоментно – сразу 50 мкмоль/л; фракционированно: сначала 25 мкмоль/л, а через определенное время (24, 48 и 144 ч) – еще 25 мкмоль/л. Аналогично вышеописанным опытам проводились измерения активности по ^{137}Cs , определялись значения факторов радиоемкости, их отношение и коэффициент синергизма p с помощью формулы (9). Расчеты показали, что влияние γ -радиации и внесение соли кадмия взаимодействуют по принципу синергизма для всех опытных вариантов, что нашло свое подтверждение в полученных экспериментальным путем значениях параметра p : от 0,6 до 0,9. Значения коэффициента p меньше единицы, что говорит об усилении негативного действия γ -радиации и внесения соли кадмия на параметр радиоемкости экосистемы (рис. 6)

Видно, что взаимодействие химического и радиационного факторов носит сложный динамический характер. Четкий синергизм на протяжении всего опыта присутствует во взаимодействии облучения проростков в дозе 30 Гр и фракционированного внесения соли кадмия со временем фракции 48 ч (кривая 2) – значения p на протяжении всего опыта не превышают 0,8. Для остальных опытных вариантов в конце эксперимента наблюдается изменение характера взаимодействия в сторону антисинергизма – уже на седьмые сутки значение p выше единицы.

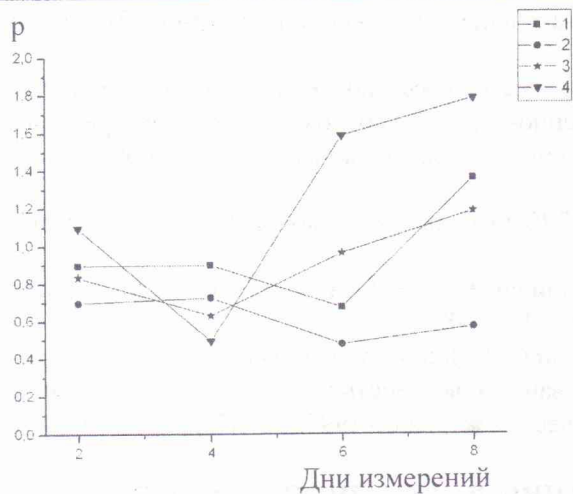


Рис. 6. Динамика изменения коэффициента синергизма: 1 - острое облучение проростков в дозе 30 Гр и фракционированное внесение соли кадмия со временем фракции 24 ч; 2 - облучение и фракция по кадмию 48 ч; 3 - облучение и фракция по внесению соли кадмия 144 ч; 4 - без фракции, соль кадмия вносилась сразу.

Существует необходимость продолжать исследования для определения механизмов синергизма при действии разных факторов.

5. Заключение

В экспериментальных и теоретических исследованиях показано, что показатель радиоемкости модельной экосистемы по радионуклидному трассеру ^{137}Cs адекватно реагирует на изменение состояния биоты. В экспериментах на максимально упрощенной модели растительной экосистемы при действии радиации и тяжелых металлов наблюдается заметное уменьшение показателей радиоемкости биоты. Этот феномен означает изменение состояния и благополучия биоты, которое отражается в перераспределении трассера как тест-показателя.

Установлено, что радиационные и химические факторы (тяжелые металлы) влияют на скорость роста и состояние биоты, и это влияние адекватно отображается на значениях факторов радиоемкости. Перераспределение трассера в экосистеме четко отображает внутренние законы состояния и поведения биоты в различных типах экосистем.

Разработана математическая модель для оценки синергизма действия нескольких вредных факторов через использование показателей радиоемкости экосистемы по трассеру. Показано, что в динамике роста и восстановления биоты происходит существенное изменение показателя синергизма, включая явления аддитивности и антагонизма разных факторов.

Установлено, что процессы восстановления биоты экосистем после радиационных и химических воздействий отчетливо проявляются как в изменении биологических ростовых показателей, так и в улучшении показателей радиоемкости. Это означает, что меры по реабилитации биоты экосистем способны повысить показатели ее радиоемкости.

Показано, что показатель радиоемкости по трассеру ^{137}Cs может быть использован в оценках состояния биоты при антропогенных нагрузках на экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гродзинский Д.М., Коломиец К.Д., Кутлахмедов Ю.А. Антропогенная радионуклидная аномалия и растения. - Киев: Лыбидь, 1991. - 160 с.
2. Кутлахмедов Ю.А. Медико-биологические последствия Чернобыльской аварии. Ч. 1. Долгосрочные радиэкологические проблемы Чернобыльской аварии и контрмеры. - Киев: МЕДЭКОЛ, 1998. - 172 с.
3. Кутлахмедов Ю.А., Поликарпов Г.Г., Корогодин В.И. Принципы и методы оценки радиоемкости экологических систем // Эвристичность радиобиологии. - Киев: Наук. думка, 1998. - С. 109 - 115.
4. Кутлахмедов Ю.А., Поликарпов Г.Г., Корогодин В.И. Методология и методы исследования радионуклидов и других техногенных загрязнителей в наземных и водных экосистемах. - Киев: Вища шк., 1997.

5. *Агре А.Л., Корогодин В.И.* О распределении радиоактивных загрязнений в медленнообмениваемом водоеме // *Мед. радиология.* - 1960. - № 1. - С. 67 - 73.
6. *Балан П.П., Кутлахмедов Ю.А.* Оценка влияния процессов восстановления на показатели радиоемкости водной культуры растений // *Антропогенно-змінене середовище України: ризики для здоров'я населення та екологічних систем: Матеріали Міжнар. конф.* - Київ: Чорнобильінтерінформ, 2003. - С. 477 - 484.
7. *Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И., Кольтовер В.К.* Основы радиоэкологии. - Киев: Вища шк., 2003. - 319 с.
8. *Петин В.Г., Рябченко Н.И., Суринов Б.П.* Концепции синергизма в радиобиологии // *Радиационная биология. Радиоэкология.* - 1997. - Т. 37, вып. 4. - С. 482 - 487.
9. *Петин В.Г., Дергачова И.П., Романенко А.Г., Рядова С.В.* Новая концепция оптимизации и прогнозирования эффектов синергизма при комбинированном воздействии химических и физических факторов окружающей среды // *Российский химический журнал.* - 1997. - Т. 41, № 3. - С. 96 - 104.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЄМНОСТІ ЕКОСИСТЕМ

Ю. О. Кутлахмедов, С. А. Пчеловська, О. Ю. Кольцова

Запропоновано новий підхід щодо оцінки стану біоти екосистеми по поведінці параметра радіоемності. Радіоемність визначається як гранична кількість радіонуклідів, яка за своєю дозовою дією ще не здатна порушити основні функції біоти: здатність зберігати біомасу та кондиціонувати середовище. Побудовано моделі радіоемності екосистем і запропоновано параметри, що здатні адекватно реагувати на дію різних факторів (γ -опромінення, важкі метали). За результатами проведених експериментів запропоновані параметри виявилися здатними чітко відображати вплив різних факторів на біоту й випереджати за своїми реакціями біологічні ростові показники. Показано, що реакція параметрів радіоемності може бути екологічним термометром, що вимірює стан та благополуччя біоти, і мірою для еквідозиметричної оцінки впливу радіаційного та хімічного факторів. Розроблено модель і параметр для оцінки синергізму дії комбінованих факторів. Показано, що в динаміці росту біоти в екосистемах дія різних факторів може мінятися від синергізму до антагонізму. Показано провідну роль процесів відновлення під час дії на біоту радіаційного та хімічного факторів.

THE INVESTIGATION AND THE MODELING OF ECOSYSTEMS RADIOCAPACITY

Yu. A. Kutlahmedov, S. A. Pchelovskaya, E. Yu. Koltsova

The article presents the new approach to estimate the condition of biota ecosystem - on behaviour of parameter of radiocapacity is offered. The radiocapacity is defined as the limiting quantity of radionuclides which on the dosage influence is not yet capable to break the basic functions of biota: ability to keep biomass and to the condition of inhabitancy. Models of ecosystem radiocapacity are constructed and the parameters capable adequately react on different factors (γ -irradiation, heavy metals) are offered. By the experiments results, parameters appeared capable precisely to display influence of different factors on biota and to outstrip on the reactions biological growth parameters are suggested. It is shown, that reaction of parameters of radiocapacity can serve as the ecological thermometer measuring the condition and well-being of biota, and to serve as a measure for equidosimetric estimations of the influence of radiation and the chemical factors. The model and the parameter for the estimation of combined factors synergism action are developed. It is shown, that in dynamics of growth of biota in ecosystem actions of different factors can vary from synergism up to antagonism. The leading part of processes of restoration is shown at the action to biota of radiation and chemical factors.

Поступила в редакцію 23.02.04,
после доработки – 24.09.04.