



УДК 338.26

**Г.Б. Карсабаева**

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ, ОСНОВАННАЯ НА МОДЕЛЬНОМ ПОДХОДЕ

В модельном подходе при оценке устойчивости экосистем используются два вида моделей: натурные и теоретические. Для данной проблемы из натуральных моделей главную ценность представляют территории-аналоги. При разработке теоретических моделей, в первую очередь, необходимо ответить на вопросы: что понимать под экологическим состоянием территории, экологическим критерием и экологическим потенциалом?

Использование этих понятий в научном исследовании требует четких и корректных определений.

Экологическое состояние - это состояние окружающей среды в данной точке (или на данной локальной территории), характеризующееся качеством воды, воздуха, почвы и т.п. Качество воды, в свою очередь, характеризуется целым набором уже количественных переменных (концентрации тех или иных вредных веществ - тяжелые металлы, или полезных веществ - растворенный кислород), т.е. качество воды - это векторная величина. Тогда векторной величиной будет и качество окружающей среды. При сравнении векторов между собой используют два подхода [4].

Первый подход заключается в том, что в пространстве векторных переменных (параметров) выделяется некоторая область. Считается, что если соответствующая данному состоянию среды точка в этом пространстве лежит внутри выделенной области, то все в порядке, если же вне, то налицо нарушения, по сути это и есть концепция ПДК. Можно определить насколько плохо или хорошо состояние, введя в этом пространстве некоторую метрику, т.е. определив расстояние. Такой подход позволяет прямо использовать обширные разработки, сделанные в рамках концепции ПДК.

Второй подход в оценке устойчивости экосистем состоит в использовании экологических критериев. В этом случае на множестве векторов, задающих состояние среды, определяют какую-нибудь скалярную величину, т.е. определяют критерий, по которому уже можно сравнить состояния, вводя отношения «хуже-лучше». Определение критерия - также субъективная процедура, особенно когда по одному критерию какое-либо состояние хуже другого, а по другому - лучше, однако можно надеяться, что использовав для выбора какие-то различные соображения, мы получим оценки, близкие к нашим интуитивным ощущениям качества среды [1].

Экологический потенциал - тот же запас устойчивости экосистем, когда они еще могут сопротивляться антропогенным воздействиям.

Концепция устойчивости - одна из наиболее фундаментальных и, на первый взгляд, интуитивно очевидных концепций в экологии. Экосистема, находящаяся в устойчивом

равновесии, может противостоять различным внешним воздействиям, сохраняя свою структуру и продолжая нормально функционировать до тех пор, пока не будут нарушены границы устойчивости, т.е. система не выйдет за пределы своей области гомеостаза. Это происходит при достаточно сильных возмущениях [4].

Прежде чем переходить к проблеме построения методов эффективной оценки этих границ, необходимо проанализировать возможные механизмы нарушения устойчивости экосистем как на глобальном, так и на локальном уровнях.

Следует особо отметить тот факт, что реальные критерии используются по отношению к объектам различного масштаба, например к биосфере в целом или к ее участкам.

Заметим, что для нарушения существующего стационарного состояния биосферы вполне достаточно неразумного вмешательства в ее элементарные структуры. В рамках данной проблемы в качестве элементарной организационной единицы биосферы удобнее всего использовать биогеоценоз (БГЦ).

Понятие БГЦ является типичным эмпирическим обобщением наблюдаемой в биосфере пространственной неоднородности живого и косного веществ. Впервые достаточно точное определение БГЦ было дано Н.В. Тимофеевым-Ресовским (1968). Оно позволило подойти к количественному описанию биосферы как некоторой совокупности элементарных динамических систем. По его определению БГЦ – это участок биосферы, через который не проходит ни одна существующая биоценотическая, геоморфологическая, гидрологическая, микроклиматическая или почвенно-геохимическая границы. Тем самым Земля разбивается на подсистемы, естественным образом отделяемые друг от друга.

Оценка устойчивости упомянутых систем основана на общеэкологических критериях. В свою очередь, они объединяются в три группы: информационные, продукционные и термодинамические.

*Информационные критерии.* Основную роль, например, в глобальном круговороте углерода играют лесные БГЦ. Если учесть, что характерное время лесного БГЦ порядка сотен лет, а характерное время роста энергетической коши человеческой цивилизации гораздо меньше, то очевидно, что ее неконтролируемое развитие неизбежно должно привести к нарушению стабильности биосферы. Уменьшение информационной энтропии означает, что резко возрастает вероятность больших флуктуаций в биосферных процессах, в том числе таких, которые сделали бы невозможным существование человека как одного из миллионов биологических видов. Заметим, что подобная флуктуация может произойти задолго до потери собственно устойчивости всей биосферы [2].

Для того чтобы система сохранялась, должно существовать определенное соотношение между массовыми и информационными характеристиками живого вещества биосферы. Оказывается, что пока выполняется неравенство

$$\frac{dS}{dt} > \frac{dN}{dt}, \quad (1)$$

где  $N$  – общая биомасса живого вещества биосферы, а  $S$  – его информационная энтропия (видовое разнообразие), то ни один вид не исчезнет из системы, т.е. система не деградирует. Этот результат позволяет сформулировать гипотезу о возможных механизмах разрушения биосферы человеком в процессе их коэволюции. На ее основе можно определить информационные критерии. В этом смысле мера дискретности территории может слу-

жить критерием экологического бедствия.

Данный подход дает возможность выбрать между альтернативными стратегиями развития. Первая – сохраняя биосферу в стационарном состоянии, затрачивать не более 1 % общественного продукта на поддержание природных условий существования человека. Вторая – нарушение равновесия биосферы (использование до 99 % общественного продукта). Эти оценки особенно важны для зон экологического бедствия, где имеет место локальное нарушение равновесия биосферы.

Энтропия – один из универсальных физических показателей. Наиболее очевидным заблуждением является мысль, что увеличение энтропии того или иного выделенного компартмента региона ведет его к деградации, хаосу и т.д. Однако увеличение, например, энтропии педосферы может идти как за счет загрязнения почвы вредными примесями, так и за счет накопления органических веществ. Однозначная связь деградации системы с увеличением энтропии есть только в замкнутых консервативных термодинамических системах, а в региональной физической системе такой связи нет.

Рассмотрим единичный участок земной поверхности, занятый какой-либо естественной экосистемой, находящийся в зрелом (климаксом) состоянии. Существует естественная периодичность функционирования этой системы – 1 год. За это время внутренняя энергия экосистемы возрастает на величину валовой продукции  $P_0$ , которую можно выразить в калориметрических (тепловых) единицах. Часть этой продукции будет израсходована на дыхание, тем самым соответствующая часть внутренней энергии перейдет в тепло и рассеется, а оставшаяся часть (чистая первичная продукция) будет, во-первых, использована консументами, в том числе и на дыхание (заметим, что это, как правило, весьма незначительная часть - проценты), и во-вторых, в виде опада перейдет в подстилку и органику почвы. Но поскольку система находится в равновесии, то соответствующее количество мертвой органики подстилки и почвы должно разложиться, сгореть, а заключенная в этой органике химическая энергия – перейти в тепло. Следовательно, в равновесной экосистеме, находящейся в термодинамическом равновесии со средой (причем температура экосистемы равна температуре окружающей среды, т.е. равновесие изотермическое), тепловая продукция  $dQ = P_0$ . Тогда производство энтропии экосистемы за год, т.е. скорость производства энтропии системой ( $S_0$ ) будет равна:

$$S_0 = \frac{dQ}{T} = \frac{P_0}{T}, \quad (2)$$

где  $T$  – среднегодовая температура в данной точке земной поверхности (точнее, среднегодовая температура за вегетационный период).

В силу нашего предположения о равновесии это производство энтропии уравновешивается ее оттоком за счет «энтропийного насоса». Следовательно,  $S_0$  можно рассматривать как мощность «энтропийного насоса» в данной точке земной поверхности.

Для более точных расчетов необходимо более точное усреднение.

$$P_0 = \int_0^{365} PO(t) dt, \quad (3)$$

где  $PO(t)$  – суточная валовая продукция экосистемы.

Суточное производство энтропии будет равно:

$$\frac{PO(t)}{T(t)}, \quad (4)$$

где  $T(t)$  – средняя суточная температура.

Тогда годовое производство энтропии будет:

$$\int_0^{365} \frac{PO(t)}{T(t)} dt = \left[ \frac{1}{T} \right]_{cp} \int_0^{365} PO(t) dt = \left[ \frac{1}{T} \right]_{cp} P_{год}, \quad (5)$$

т.е. среднее берется от величины, обратной температуре, при этом необходимо брать не среднее арифметическое, а среднее геометрическое температур. Следствия для концепции суммы эффективных температур очевидны [3].

Допустим, теперь на этот участок земной поверхности осуществляется антропогенное воздействие, заключающееся, во-первых, в энергетической нагрузке, т.е. в потоке искусственной энергии в эту систему. Относительно этого потока можно предположить, что он весь (или его некоторая часть) рассеивается внутри системы, переходя в тепло; во-вторых, в потоке химических элементов с концентрациями  $C_i$ , которые также рассеиваются внутри системы. Эти два антропогенных фактора ответственны за тепловое и химическое загрязнение. Можно еще упомянуть в качестве факторов антропогенного воздействия механическую работу, производимую над системой (вспашка полей, построение дорог и т.п.), переброску воды и т.д. Но все эти факторы можно учесть и рассматривать в рамках энергетического подхода.

Далее рассмотрим энтропийный баланс территории. Пусть валовая продукция на территории экосистемы равна  $P_1$  (при этом в балансе не учитывается часть продукции экосистемы, изымаемая из территории – вывоз леса, сельскохозяйственной продукции и т.п.,  $P_1$  – это только то, что остается). Пусть  $W$  – поток теплового загрязнения (за год),  $ci$  – концентрация загрязнений,  $C_i$  – концентрация соответствующих веществ в «дикой» природе в данной точке земной поверхности. Тогда скорость производства энтропии на данной территории за счет антропогенного давления ( $d$ ) будет равна:

$$d = \frac{W}{T} + R(ci - C_i) \ln \frac{ci}{C_i}, \quad (6)$$

где  $R$  – газовая постоянная.

Вычислив дополнительные годовые приросты энтропии для различных регионов, можно составить географические карты «энтропийной нагрузки» и указать регионы с максимальным риском деградации территорий с современным типом природопользования.

#### Список литературы

1. Варламов А. Экология землепользования и охрана природных ресурсов: Учеб. для вузов. – М.: Колос, 1999. – 159с.
2. Агроэкология /Под ред. В.А. Черникова, Р.М. Алексахина, А.В. Голубева. – М.: Колос, 2000. – 586 с.
3. Рунова Т.Г. Оценка изменения природных ресурсов и окружающей среды в регионе // Природные ресурсы и окружающая среда. – М., 1986. – 225 с.
4. Миркин Б.М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. – М: Наука, 1989. – 362 с.

Получено 08.08.05.

УДК 338.26

**Г.Б. Карсабаева**

ВКГТУ им Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**И.А. Квасов**

Западно-Сибирский институт финансов и права, г. Нижневартовск, Россия

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В экологическом прогнозировании, в том числе и для оценки устойчивого развития экосистем, используются три основные группы методов: экстраполяции (аналогии), экспертных оценок, моделирования.

По Б.М. Миркину [1], метод аналогий – метод прогнозирования, основанный на установлении и использовании аналогии объекта прогнозирования со сходным по природе объектом, опережающим первый в своем развитии (экологический аналог есть вариант физического моделирования). Аналогия – логический вывод, в результате которого знание о признаках одного предмета возникает на основании известного сходства его с другими предметами. В геоэкологии рассматриваются аналогии трех видов: свойств, отношений и изоморфизма (между объектами тождественной структуры).

Метод физико-географической аналогии – одно из основных направлений экстраполяционных построений в экологическом прогнозировании. Суть его в том, что закономерности, установленные для одного объекта (явления), переносятся на другой (вновь проектируемый) объект (или рассматриваемое явление) при условии сходства природных условий районов.

В качестве аналогов Б. М. Миркин рассматривает экологические эквиваленты по Ю. Одуму (виды, занимающие одинаковые экологические ниши в разных географических областях); Ю.З. Кулагин [2] методом аналогий дал прогноз изменения техногенной растительности; Г.С. Золотарев методом природных аналогов оценил устойчивость оползневых и обвальных склонов; А.Г. Емельянов методом аналогий прогнозировал зоны подтопления водохранилищ; А.И. Квасов и В.А. Яковлев методом аналогий дали прогноз гидрологического режима Капчагайского, Шульбинского, Крапивинского и других водохранилищ.

Главное в методе аналогии – выбор критериев, определяющих подобие. Для отдельных частных задач такие критерии найдены, определены главные из них, а для некоторых дополнительных, например «геологических», в зависимости от представительности статистической обработки соответствующих показателей, определены критерии «вероятностного подобия».

Использование метода аналогии начинается со сбора информации (формирования банка данных), затем выбираются критерии (на основе теории физического подобия) и,

наконец, подбираются аналоги при условии, что изменения от объекта-аналога уже проявились и получили определенное развитие, т.е. твердо установилась четкая тенденция изменения соответствующих взаимосвязей. Для установления подобия выбираются количественные и качественные показатели (критерии), отражающие условия однозначности, т.е. условия, определяющие индивидуальные особенности процесса и выделяющие его из многообразия других процессов. Сходство одноименных критериев сравниваемых процессов означает наличие подобия. В тех случаях, когда явление можно описать уравнением, то необходимым условием достижения подобия между прототипом и аналогом служит существование формальной аналогии соответствующих уравнений и условий однозначности (в соответствующих уравнениях должны присутствовать члены, над которыми производятся однотипные операции).

Здесь главное – выбор критериев, определяющих подобие. На основе теории физического подобия В.А. Яковлев и А.И. Квасов сформулировали основные принципы подбора критериев и определения характерных свойств аналогов; используя принцип «вероятность подобия», составили критериальные уравнения и условия однозначности; предложили схему прогнозирования данным методом и механизм ее реализации на примере оценки гидрологического режима и устойчивости склонов Капчагайского, Шульбинского, Крапивинского и других водохранилищ.

Исследование методом аналогии завершается логическим анализом, который подкрепляется расчетными методами, картографическими и экспериментальными исследованиями, экспертными оценками и т.д.

Некоторые исследователи (Ю.С. Васильев, Н.И. Хрисанов) подчеркивают, что метод аналогий, дополненный целенаправленным экспериментом и математическим моделированием, наиболее перспективен при изучении динамических свойств природной среды и последствий антропогенных воздействий на нее. Оценка состояния природной среды, в том числе и для альтернативных сценариев, с помощью моделей становится в этом случае важным этапом при разработке методов рационального природопользования, при выборе оптимальных решений и выявлении экстремальных ситуаций, при оценке устойчивого развития экосистем.

Методы экспертной оценки применяются в этом случае как для определения достоверности результатов, полученных методом аналогий и другими методами, так и в качестве самостоятельного приема исследований.

При оценке влияния на геосистемы современной хозяйственной деятельности выделяются два момента:

- выявление отдельных последствий уже произошедших изменений в геосистемах;
- оценка изменений геосистем в результате дальнейшего развития антропогенных воздействий.

Практическое применение метода аналогий целесообразно реализовывать последовательно, поэтапно:

1. Характеристика и анализ современного состояния, достоинств и недостатков существующих подходов (мировая практика). Определение предмета, терминология, основные положения методики.

2. Разработка принципиальных положений экологической оценки качества окружающей природной среды (территориальность, заблаговременность, комплексность анализа, геосистемность, избирательность и универсальность критериев, антропоцентризм, вери-

фицируемость результатов).

3. Разработка основных направлений геоэкологических оценок качества окружающей среды (сценарий (прогноз) требований общества к окружающей среде; экологическая экспертиза территории, отдельных объектов; оценка изменений геосистем; влияние на геосистемы современной хозяйственной деятельности; экологическая экспертиза проектов и прогноз развития современных экологических ситуаций) (рис. 1).

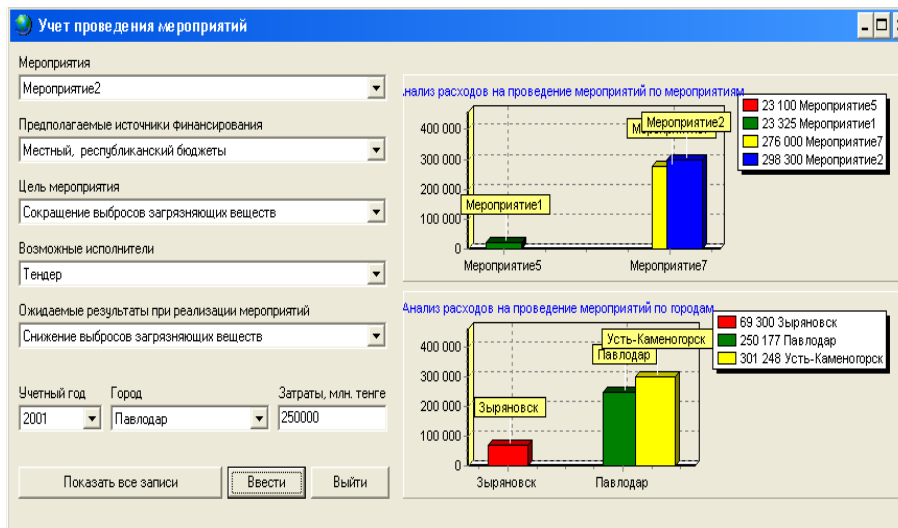


Рис. 1. Учет проведения мероприятий

Разработанный в рамках настоящей работы программный комплекс поддержки принятия решений [3] на основе метода природных аналогий позволил автоматизировать:

- определение минимального числа факторов, несущих необходимую информацию об объекте и его особенностях в свете решаемой задачи;
- поиск на основе этих факторов объекта-аналога;
- оценку степени различия аналога и исследуемого объекта с помощью критериев подобия, представляющих собой сравнительную количественную оценку информации, которую несут в себе используемые факторы;
- программу природоохранных мероприятий, устраняющих негативные последствия воздействия на окружающую природную среду (рис. 2).

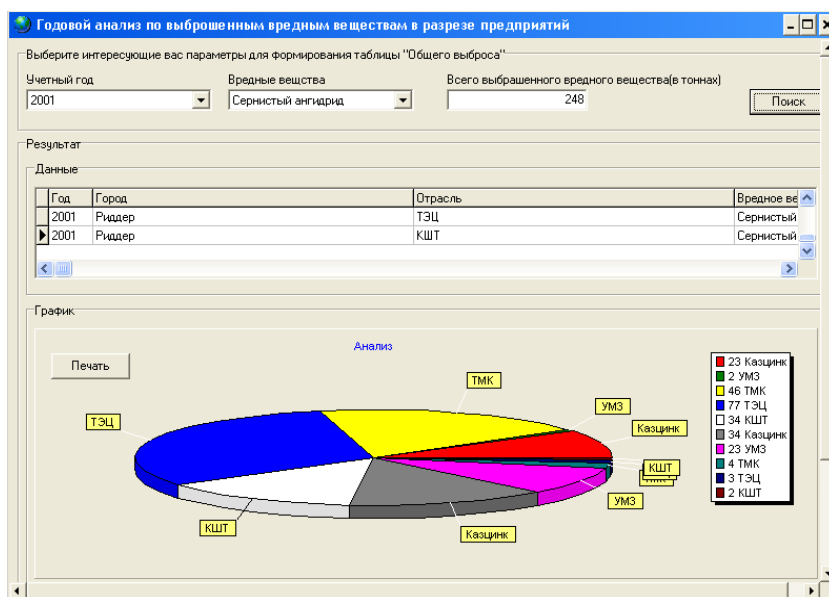


Рис. 2. Годовой анализ по выброшенным вредным веществам

## Список литературы

1. Миркин В.М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. - М.: Наука, 1989.
2. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендрозоология и прогнозирование. - М.: Наука, 1985. - 117 с.
3. Карсабаева Г.Б., Квасов А.И. Оценка зон экологического бедствия по экологическим показателям // Проблемы трансграничного загрязнения территорий: Материалы Международ. Казахстанско-Российской науч.-практ. конф., 5-6 окт. 2004. - Ч.І. - Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2004.

Получено 08.08.05.

