

Экосистемы: устойчивость, риск, хаос

В.А. Светлосанов⁺, В.Н. Кудин⁺, А.Н. Куликов⁺⁺

⁺Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

⁺⁺Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

Ecosystems: stability, risk, chaos

V.A. Svetlosanov⁺, V.N. Kudin⁺, A.N. Kulikov⁺⁺

⁺Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

⁺⁺Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The article is dedicated to the analysis of notions of stability, risk and chaos for dynamic ecosystems. The difference of notion stability by Lyapunov and notion of ecological stability is shown. Role of chaos at the points of bifurcation at the dynamic ecosystem processes is underlined. The interaction between risk and sustainable development of regions is considered. The assessment of risk and sustainable development for Kirovsk - Apatity region is discussed.

Проблема рационального природопользования является проблемой управления состояниями окружающей среды на основе детального изучения человеком существующих в системе динамических процессов. Устойчивость как одно из фундаментальных понятий при изучении функционирования экологических систем возникло в результате сильных антропогенных воздействий на природные системы и необходимостью количественных оценок последствий таких воздействий. К особому классу относятся те воздействия, которые приводят экосистемы в катастрофическое состояние, когда процесс становится необратимым. При этом возникает проблема оценки риска перехода экосистемы из текущего состояние в состояние, соответствующее катастрофическому. В данной статье идет речь о связи понятий «устойчивость», «риск», «хаос».

Общепринято считать, что риск - неотъемлемая часть функционирования всех живых существ. Риск того или иного нежелательного события сопровождает практически каждое действие человека. Какой же выход? Не предпринимать никаких действий невозможно. Поэтому остается одно – научиться оценивать «риск» возможного события прежде чем это нежелательное событие может произойти.

К экологическим рискам относятся риски, связанные с загрязнением окружающей среды, истощением природных ресурсов, различные природные катаклизмы.

Существует три разных подхода к определению понятия «риска». (Мягков, 1995).

Светлосанов В.А., Кудин В.Н., Куликов А.Н. Экосистемы: устойчивость, риск, хаос. // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий. Труды Международной электронной конференции. Тбилиси-Москва, 2006, с. 161-164. www.cetm.narod.ru/pdf/svetlosanov.pdf

1. Риск-это вероятность наступления некоторого события, причиняющего социальный или материальный ущерб. Для риска часто характерны неожиданность, относительная внезапность наступления опасной ситуации.
2. Риск - это ущерб (потери, убыток), полученный в результате наступления какого - либо события.
3. Риск это - произведение вероятности какого либо события на величину ущерба, полученного в результате свершения этого события.

Как видно из второго и третьего определений, понятие риска тесно связано с величиной ущерба.

Понятие риска также тесно связано с понятиями опасности и безопасности (Экология, 1999). Опасность - это возможная реализация нежелательных событий и процессов. Экологическая опасность - это возможная реализация в окружающей среде процессов, ухудшающих состояние окружающей среды.

Нас интересуют проблемы безопасности человека и окружающей среды. Для количественного измерения опасностей используется «шкала», проградуированная в единицах риска. Безопасность – это состояние защищенности отдельной личности, общества в целом.

Усредненной единицей измерения экологической безопасности общества в целом может служить показатель, который объединяет в себе здоровье нации. Таким показателем здоровья может служить средняя продолжительность жизни населения. (Вацалова и др., 2002). Эта характеристика является функцией социально-экономического развития общества, уровня медицины, качества окружающей человека среды. В качестве конкретной характеристики используют величину (89 ± 5) лет. Здоровье нации тем хуже, чем дальше от этой величины (в меньшую сторону) находится средняя продолжительность жизни населения.

Если взять за основу первое вышеприведенное определение «риска», то количественная оценка риска – это численное значение вероятности появления нежелательных процессов, явлений, событий. Вопрос в том, как делать количественный расчет этой характеристики.

Предположим, что есть возможность рассчитать риск проявления некоторого явления, которое несет определенный экономический ущерб. Рассмотрим стратегии, которые могут быть выбраны лицом, принимающим решение (ЛПР). Рассмотрим следующие варианты:

1. риск мал, причиненный ущерб тоже мал,
2. риск мал, но ущерб, большой,
3. риск большой, ущерб малый,
4. риск большой, ущерб большой.

Практический интерес представляет 2 и 4 варианты. Если возможны элементы управления в системе, то следует попробовать в варианте 4 либо уменьшить риск, либо уменьшить ущерб. Если ущерб уменьшить невозможно, то следует проанализировать варианты уменьшения риска. Для этого, скорее всего, потребуются определенные финансовые затраты. Поэтому надо понять, насколько приемлемы эти затраты для ЛПР.

Попробуем теперь установить связь между риском и устойчивым развитием какой - либо территории.

Большой интерес представляют работы, связанные с количественной оценкой результатов антропогенного воздействия и разработками моделей перехода территорий на устойчивое развитие.

При моделировании природных систем следует добиваться устойчивого развития природных процессов. Раз речь идет об «устойчивом» развитии, то надо понять, какое развитие следует считать «устойчивым». Одна и та же система может быть устойчива согласно определению одного исследователя и неустойчива, согласно определению другого исследователя. Устойчивость является одним из фундаментальных понятий о развитии природных комплексов.

Когда говорят об устойчивости экосистемы, то явным или неявным образом подразумевают следующее. Имеется экосистема, которая испытывает антропогенное или естественное (природное) воздействие. В результате этого воздействия параметры или компоненты экосистемы принимают некоторые (быть может, нежелательные) значения. Это значит, что для количественного исследования устойчивости экосистем должны быть

определены как воздействия, так и критические значения некоторых (признанных ответственными за устойчивость) компонентов или параметров экосистем.

При анализе устойчивости общим для всех подходов является наличие определенной структуры изучаемой экосистемы и наличие воздействий как природного, так и антропогенного характера, стремящихся либо вывести систему из определенных областей, считающихся устойчивыми, либо воздействовать на параметры экосистемы, тем самым в определенных случаях изменяя структуру последней, что тоже соответствует неустойчивости экосистемы. Исходя из этих представлений, назовем устойчивостью экосистемы, подверженной воздействиям, ее способность сохранить внутренние структурные связи и находиться внутри одной и той же области состояния, характеризуемой как устойчивой. Назовем «упругостью» экосистемы, ее способность под действием возмущений переходить из одной области устойчивого состояния в другую, сохраняя при этом внутренние структурные связи. Отметим, что понятие «упругость» предполагает, что у экосистемы имеется несколько устойчивых положений равновесия. Упругость является лишь разновидностью устойчивости.

Понятие «устойчивость» в течение многих лет успешно применяется в математике. Есть, ставшие классическими, определения типа «устойчивость по Ляпунову». Изучаемый динамический процесс описывается системой дифференциальных уравнений и, используя методы Ляпунова, исследуется реакция системы на возможные воздействия. Однако, здесь не все однозначно. Если метод Ляпунова показывает, что система устойчива к возмущению, то сделанный вывод распространяется на анализируемую экосистему. Но, рассмотрим случай, когда после возмущения система не стремится к невозмущенной траектории, а движется параллельно ей. По Ляпунову система является неустойчивой к воздействию, а с точки зрения экологии происходит устойчивое развитие, когда определен некоторый коридор и считается поведение системы устойчивой, если развитие системы проходит внутри этого коридора. Более того, экологическая система может иметь несколько устойчивых положений равновесия и, если под действием возмущений система переходит из одного устойчивого положения в другое, то по Ляпунову она неустойчива, а с точки зрения экологии, несмотря на переход в другое устойчивое положение, система может рассматриваться как устойчивая. Поэтому, если по Ляпунову система неустойчива, то требуется проводить дополнительное исследование, чтобы сделать вывод об экологической неустойчивости.

С классических работ Ляпунова и Пуанкаре характерные точки и линии, (названные математиками фокусами и предельными циклами), к которым стремятся решения дифференциальных уравнений, известны как аттракторы устойчивых систем. В последние годы все большее внимание исследователей, использующих обыкновенные дифференциальные уравнения, привлекают так называемые «странные аттракторы», которые имеют дело с порогами устойчивости и с «точками бифуркации», т.е. связаны с понятием устойчивости. Особенностью является то, что в «точках бифуркации» динамическая система становится неустойчивой относительно флуктуаций. При многократном повторении эксперимента динамическая система может оказаться в разных ветвях бифуркационной диаграммы, что соответствует разным решениям. На практике это может означать структурную перестройку исследуемой динамической системы, происходящей под действием флуктуаций. Здесь речь идет о возрастании роли флуктуаций при исследовании динамики экосистем. Именно флуктуация заставляет систему выбрать определенный путь дальнейшей эволюции. Переход через точку бифуркации во многом может быть рассмотрен как случайный процесс, сравнимый с бросанием монеты. Случайность (хаос) в какой – то степени всегда управляет динамикой экосистем. Роль хаоса в точках бифуркации весьма велика. При достижении точек бифуркации нельзя проследить конкретную траекторию экосистемы. Можно говорить только о статистическом описании поведения экосистем. Анализ вопросов взаимоотношения хаоса и порядка дается в книге Нобелевского лауреата И. Пригожина с соавтором (Пригожин, Стенгерс, 2003).

Для оценки устойчивого развития могут быть успешно использованы также другие математические методы и подходы. Примером могут служить мировые динамические модели. При анализе мировых моделей имеется немало трудностей, но, если определить критические значения компонентов и величин, то сценарные варианты мировых моделей могут быть использованы для оценки устойчивого развития.

Структура региональной математической модели социального и экономического развития с учетом экологических факторов на примере Кировско - Апатитского района Мурманской области рассмотрена в работе (Светлосанов, Мыслев, 1991). Развитие Кировско - Апатитского региона в пространстве и во времени происходит под действием внешних и внутренних сил. Но это развитие не беспредельно. Лимитирующими факторами могут стать как истощение природных ресурсов, так и ухудшение качества окружающей среды ниже определенного уровня, которые являются критическими значениями для рассматриваемой системы. Все изменения во времени в региональной системе описаны обыкновенными дифференциальными уравнениями. В модели учтены и могут анализироваться последствия различных антропогенных воздействий.

При достижении некоторых предельных (критических) значений характеристик компонентов Кировско - Апатитского региона, система теряет свою устойчивость.

Предположим, что в системе есть возмущения, которые могут привести систему в состояние неустойчивости. Требуется оценить риск перехода экосистемы в состояние неустойчивости за определенный интервал времени. В рассматриваемом случае риск соответствует вероятности перехода системы из одной точки фазового пространства, где находится система в начальный момент времени, в критическую область пространства, где система становится неустойчивой. Такой переход может осуществиться разными путями, например, либо в результате какого-то сильного антропогенного воздействия, либо под влиянием малых, но постоянно действующих возмущений. На модели разыгрываются различные сценарии и оцениваются вероятности (модельные) перехода системы в неустойчивые области.

Численное значение данной вероятности характеризует «риск» системы стать неустойчивой. Управление риском заключается в оценке экономических затрат, необходимых, чтобы риск перехода Кировско - Апатитского региона в неустойчивую область не превышал значения, определенного как «приемлемый риск».

ЛИТЕРАТУРА

- Вашалова Т.В., Петрова Е.Г., Кудин В.Н., Светлосанов В.А., Симакин В.В. Расчет средней продолжительности жизни как функции состояния окружающей среды. В материалах международной конференции InterCarto8, 2002, с. 384-387
- Мягков С.М. География природного риска Москва, Изд-во МГУ, 1995, с.221
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса (Новый диалог человека с природой). Москва, изд-во «Едиториал УРСС», 2003, 310 с.
- Светлосанов В.А., Мыслев И.Б. Математическая модель социально - экономического развития Кировско - Апатитского района (компьютерные эксперименты), Вестник МГУ, сер. геогр., 1991, №4.
- Экология. Москва, Изд-во «Знание», 1999, 287 с.