

Принцип Ле Шателье и устойчивость континентальных экосистем

д.т.н. В.Е.Лотош

Рассмотрены некоторые способы оценки состояния экосистем и отмечены их недостатки. Основное внимание уделено корректности попыток использования принципа Ле Шателье для анализа устойчивости континентальных экосистем. Показано, что выводы ряда ученых о неустойчивости континентальных северных территорий, полученные с использованием этого принципа, основаны на классической логической ошибке – от отрицания основания к отрицанию следствия.

Le Shatelier's principle and continental ecosystem stability

by d.t.s., prof. V.E.Lotosh

Various methods of ecosystems appreciation and its deficiencies are considered. Principal attention is devoted to the correctness of attempts to use Le Shatelier's principle for analysis of continental ecosystem stability. Author demonstrates that some scientists' conclusions about a continental northern ecosystems stability based upon that principle have classic logical fault: negation of foundation necessitates negation of consequence.

Объективная оценка состояния окружающей среды является одной из наиболее важных задач экологии. При все более усиливающемся антропоном воздействии на биоту правомерно возникает вопрос, в каком состоянии она находится.

Весьма часто констатируется, что на территории такого-то региона выбрасывается столько-то тонн загрязнителей, сохранилась такая-то лесистость, уловы рыбы снизились на столько-то тыс. тонн и т.д. Говорят, что чего-то стало «меньше» или «больше», чем тогда-то. При этом возникают вопросы: а много это или мало? Насколько хуже или лучше? Достигнут ли край экологической пропасти, или процесс обратим и находится в стадии *стабильного неравновесного состояния*, являющегося фундаментальным законом естественного развития биосферы? Приходится констатировать, что при современном уровне развития экологии как науки выработка крите-

риев оценки состояния природной среды находится еще в начальной стадии.

Как отмечает Н.Ф.Реймерс, никто не знает пределов надежности конкретных природных систем, их буферности и инерционности [1].

В некоторых случаях ориентировочную оценку состояния экосистемы можно дать, опираясь на два эмпирических обобщения, так называемые экологические законы одного и десяти процентов. Первый из них определяет предел энергетических возмущений, не влекущих трансформации биоты. Отклонения, достигающие 1% энергетического потока, могут коренным образом изменить характер экосистем. Это же происходит при 10%-ных вариациях потоков веществ.

В открытых и весьма динамичных многоуровневых природных образованиях пределы в 1 и 10% являются достаточно ориентировочными. Реальные отклонения, по-видимому, могут быть на порядок или в несколько раз больше-меньше, что зависит от вектора динамики системы. При совпадении векторов ее развития с наметившимися изменениями энергетического и вещественного потоков перерождение возможно при минимальных величинах отклонений. В противоположном случае необходимы значительно большие изменения для погашения инерции развития системы.

Для экологической оценки теоретически возможно также использование индикационных показателей. Однако в настоящее время универсальные гео- или биоиндикаторы качества среды, состояния той или иной экосистемы неизвестны. Применительно к человеку за универсальный индикатор качества среды его обитания и условий существования можно принять среднюю вероятную продолжительность жизни и уровень заболеваемости людей.

Н.Ф.Реймерс для экологической оценки состояния природных систем и степени их деградации (ухудшения) предложил использовать показатели темпов самовосстановления (при его возможности), качественно-количественную характеристику биомассы и продуктивность ее воспроизведения. На основании этих критериев он выделил естественное, равновесное, кризисное, критическое, катастрофическое и коллапсидное состояния экосистем.

На основании перечисленных состояний природной среды Н.Ф.Реймерс предложил также природно-экологическую классификацию угасания природы, учитывающую и медико-социальные факторы (наличие людей). Классификация насчитыва-

ет три градации: зону напряженной экологической ситуации, зону экологического бедствия и зону экологической катастрофы [1].

В соответствии с классификацией Н.Ф.Реймерса, природная система экологически равновесна до тех пор, пока является биологически обратимой, т.е. после снятия или снижения антропогенного давления переходит на путь эволюционного развития – от упрощенных и однообразных форм жизни к более сложным и разнообразным. В определенном смысле она стремится вернуться в положение, в котором находилась до антропогенного воздействия. Экосистема необратимо теряет экологическое равновесие только с переходом в состояние коллапса.

Несмотря на то что критерии Н.Ф.Реймерса носят качественный характер, он понимал предпочтительность расчетных показателей для экологической характеристики среды обитания, считая, что именно таким образом необходимо выявлять зоны потенциально напряженной экологической ситуации, экологического бедствия, катастроф.

Идеи Н.Ф.Реймерса реализованы в оригинальной разработке [2]. В ней изложены способы оценки изменения как среды обитания человека, так и природной среды. В первом случае оценивается состояние здоровья населения, воздуха и почв селитебной территории, питьевая вода, ее источники, рекреационные зоны, радиационные загрязнения; во втором – воздух, все виды вод, почвы, геологическая среда, растительный и животный мир, биохимическое состояние территории.

Не останавливаясь на деталях «Критериев...», опубликованных в доступной литературе [3], отметим наиболее важные особенности этого документа.

Хотя в нем оценке подвергается множество факторов, но в ее основе лежит балльный принцип, всегда субъективный и поэтому по сути своей не являющийся научным [4].

Даже в тех случаях, когда в качестве критериев используются объективно определяемые единицы измерения, в их применение вносится существенный элемент субъективизма. В частности, при оценке степени загрязнения атмосферного воздуха по ПДК_{м.р} вводится понятие кратности превышения К, равное $C_{95}/\text{ПДК}_{\text{м.р}}$ (здесь C_{95} – концентрация загрязнителя в воздухе, которая в 95% случаев находится на уровне или ниже средней его концентрации). Далее для зоны экологического бедствия, например, принимают, что К зависит от класса опасности загрязнителя:

Класс опасности загрязнителя I II III IV

Такая зависимость алогична. ПДК по определению являются концентрациями, являющимися безопасными. Их величины для различных соединений, естественно, разные. Например, для сернистого ангидрида в воздухе ПДК_{с.с} составляет 0,05, а для марганца и его соединений – 0,0001 мг/м³. Это означает, что 0,05 мг/м³ SO₂ по воздействию эквивалентны 0,0001 мг/м³ соединений марганца. Однако 1 ПДК равно 1 ПДК, независимо от класса опасности загрязнителя. Очевидно, что в общем случае вредное воздействие вещества определяется лишь величиной превышения уровня его ПДК [5].

Независимо от указанных и других недостатков появление «Критериев...» имеет позитивный характер, так как приучает экологов выполнять свои оценки по сопоставимым методикам. Использование «Критериев...» позволило, в частности, впервые официально выявить и признать на правительственном уровне ряд российских территорий относящимися к зоне чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия.

Однако наиболее обязывающие выводы при оценке состояния экосистем были получены с применением принципа Ле Шателье. И это требует тщательного анализа их корректности. В данной работе он выполнен нами с применением методов классической логики.

Использование принципа Ле Шателье для оценки состояния природных систем в значительной степени связано с появлением работ В.Г.Горшкова [6]. Принцип был сформулирован французским физико-химиком Ле Шателье (1885 г.) и отражает влияние различных факторов на положение (смещение) термодинамического равновесия: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния равновесия, последнее смещается в направлении, при котором эффект воздействия ослабляется. Принцип Ле Шателье, будучи термодинамическим, справедлив безусловно только для неживых замкнутых систем. Они, как известно, не обмениваются веществом с окружающей средой. Возможность применения принципа Ле Шателье к неравновесным состояниям в физико-химической литературе отрицается. Более того, отмечается, что он не имеет общего характера и предложен как аксиома, не опирающаяся на какой-либо определенный физический закон [7].

Биологические процессы, в отличие от происходящих в неживой природе, протекают в открытых системах, непрерывно обменивающихся веществом с окружаю-

щей средой, и неравновесны. Применительно к ним можно говорить только об устойчивом неравновесном состоянии, понятие о котором ввел Э.С.Бауэр (1985 г.). Они постоянно находятся в эволюционном процессе развития от простого к сложному, что сопровождается изменением генетического состава популяций, приспособлением организмов к условиям среды, образованием и вымиранием видов, преобразованием биогеоценозов, крупных экосистем и биосферы в целом. Полагать, что принцип Ле Шателье справедлив и для устойчиво-неравновесных (квазистационарных) природных систем – значит выходить за пределы его применения, очерченные самим автором, не приводя каких-либо доказательств корректности такого подхода.

Допустим, однако, вслед за В.Г.Горшковым, что устойчиво-неравновесное состояние можно принять за равновесное (в течение короткого для системы периода). Такое состояние часто определяют как *экологическое равновесие*, при котором величины прихода и оттока энергии, вещества и информации поддерживают экосистему в эволюционном состоянии, характерном для данного географического места и геологического периода. Примем также, как и В.Г.Горшков, что принцип Ле Шателье не применим к неэволюционным, или экологически неравновесным, системам. Посмотрим, какие выводы из этого последуют.

В своей основной работе, посвященной устойчивому состоянию окружающей среды, В.Г.Горшков, анализируя изменение концентрации CO_2 в атмосфере, отмечает следующее [6]. Принцип Ле Шателье выражается в том, что при малых относительных возмущениях окружающей среды поглощение углерода биотой пропорционально приросту его концентрации в этой среде. В прошлом столетии выполнение данного принципа привело к большому возрастанию континентальной биоты в ответ на незначительный прирост атмосферной концентрации углекислого газа. Однако глобальный анализ землепользования, продолжает он, указывает, что на значительной территории континентальной части биосферы содержание органического углерода в настоящее время не возрастает, а падает, и это свидетельствует о нарушении принципа Ле Шателье: хозяйственная деятельность на освоенных площадях приводит к выбросам углерода в атмосферу, несмотря на увеличение в ней концентрации CO_2 . На малоосвоенных территориях суши органический углерод остается примерно постоянным, но они уже неспособны компенсировать его выбросы в атмосферу с освоенных площадей. В то же время в биосфере в целом принцип Ле Шателье продолжает дейст-

вывать, и океаническая биота, по-видимому, почти полностью поглощает выбрасываемый углерод, связанный с землепользованием на континентах. Таким образом, В.Г.Горшков, основываясь на нарушении принципа Ле Шателье, приходит к выводу о нестабильности биоты в масштабах освоенных континентов.

К еще более категоричному выводу о нарушении биосферы в целом приходит, применяя тот же принцип, К.Я.Кондратьев [8]. Он отмечает, что океан ежегодно поглощает 4 Гт углерода, его прирост в атмосферу составляет 3,5 Гт, а выбрасывается в нее при сжигании ископаемого углерода только 5 Гт. Отсюда вытекает, исходя из необходимого равенства материального баланса приращенного (7,5 Гт) и выделившегося углерода, что континентальная часть отдает его ежегодно 2,5 Гт. Таким образом, биота не поглощает CO_2 от сгорания топлива, чтобы замедлить развитие парникового эффекта и связанное с ним повышение температуры, что соответствовало бы принципу Ле Шателье, а реагирует противоположным образом. Отсюда делается вывод, что биота и окружающая среда теряют устойчивость, так как перестает действовать принцип Ле Шателье.

Выводы В.Г.Горшкова, К.Я.Кондратьева и других, будучи весьма существенными, приобретают мировоззренческий характер апокалиптического толка – критическая точка пройдена, окружающая среда в масштабах освоенных континентов выведена из экологически равновесного состояния, грядет глобальная экологическая катастрофа. Однако эти выводы некорректны и являются следствием известной логической ошибки, часто допускаемой в суждениях с использованием условно-категорических силлогизмов [9]. Действительно, умозаключение В.Г.Горшкова сводится к следующему условно-категорическому силлогизму:

большая посылка: если система подчиняется принципу Ле Шателье,
то она экологически равновесна;
малая посылка: система не подчиняется принципу Ле Шателье;
заключение: система экологически неравновесна.

Здесь большая посылка – условное суждение, включающее основание «если система подчиняется принципу Ле Шателье» и следствие «то она экологически равновесна». Малая посылка является простым категорическим суждением. Заключение «система экологически неравновесна» сделано по схеме «от отрицания основания к отрицанию следствия». Однако из курсов логики известно, что от отрицания основа-

ния к отрицанию следствия вывод делать нельзя. Таким образом, утверждение, что система экологически неравновесна, потому что не подчиняется принципу Ле Шателье, логически несостоятельно (здесь не анализируется другой ложный вывод условно-категорического силлогизма, допускаемый в схеме «от утверждения следствия к утверждению основания»).

Логически безупречны только умозаключения «от утверждения основания к утверждению следствия» и «от отрицания следствия к отрицанию основания». Они приводят к двум логически правильным выводам. Первый состоит в том, что система, подчиняющаяся принципу Ле Шателье, экологически равновесна. Второй заключается в том, что система экологически неравновесная не подчиняется принципу Ле Шателье. Для дальнейших рассуждений важен первый вывод, поскольку именно по принципу Ле Шателье предлагается судить об устойчивости системы, а не наоборот, как во втором случае.

Таким образом, если мы докажем, что экосистемы подчиняются принципу Ле Шателье, то сможем считать их равновесными. Для этого имеются необходимые данные, в том числе те, которые приводят В.Г.Горшков и К.Я.Кондратьев (но логически неверно их интерпретируют). Дело в том, что, совершая ошибку «от отрицания основания к отрицанию следствия», они тем самым исключают наличие других, кроме отрицаемого, оснований, находящихся в причинной связи со следствием. Так, у человека нет, например, повышенного давления, но это не значит, что он непременно здоров. Возможны и другие основания болезни: высокая температура, насморк, кровотечение и т.д.

Приводимые названными авторами данные о выбросах CO_2 континентальными экосистемами в атмосферу в то время, когда его концентрация в ней растет, объясняются не нарушением принципа Ле Шателье, а другими факторами (основаниями) в рамках соблюдения этого принципа, которые В.Г.Горшков и К.Я.Кондратьев не учитывают.

Одним из таких факторов является температура и ее изменение. В.Г.Горшков, отмечая факт выбросов CO_2 в атмосферу на освоенных континентальных территориях, несмотря на увеличение атмосферной концентрации углекислого газа, одновременно указывал, что на этих освоенных, или северных, территориях имеет место похолодание. Он также отмечал, что на мало освоенных (южных) территориях суши количество органического углерода остается примерно постоянным и на них нет понижения температуры.

Из этих данных с очевидностью следует, что экосистемы ведут себя в полном соответствии с принципом Ле Шателье, поскольку на понижение температуры отвечают выбрасыванием в атмосферу углекислого газа, вызывающего парниковый эффект, и это тормозит процесс похолодания.

Сложный характер изменения температуры в целом с 1870 по 1965 г., объясняется различными причинами: общим потеплением климата, начавшимся еще в начале 17 в., вулканической деятельностью и, особенно, антропогенными выбросами аэрозолей в атмосферу. Последние два фактора, приводящие к снижению температуры, могут быть той причиной, которая обуславливает похолодание прежде всего на освоенных северных территориях и, как следствие, выбросы в атмосферу CO_2 в полном соответствии, еще раз отметим, с принципом Ле Шателье. Процесс похолодания явно выражен начиная с 1941-1943 гг. и, очевидно, с учетом антропогенного загрязнения, продолжается до сих пор [10].

Таким образом, применение принципа Ле Шателье, избавленное от логических ошибок, показывает, что общее состояние континентальных экосистем в настоящее время устойчиво. Естественно, следует не упускать из виду, что сама возможность применения этого принципа к анализу устойчиво-неравновесных процессов является известным допущением, ждущим своего строгого обоснования.

Однако общее устойчивое состояние континентальных экосистем не исключает наличия отдельных менее масштабных ареалов с необратимым нарушением экологического равновесия. К ним относятся те, которые, по классификации Н.Ф.Реймерса, находятся в состоянии коллапса. Выйти из него в исторически обозримом будущем такие системы без содействия человека уже не могут.

07.11.2000

Лотош Валерий Ефимович, д.т.н., профессор

Литература

1. **Реймерс Н.Ф.** Экологизация. – М.: Рос. открытый ун-т, 1992. – 121 с.
2. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М.: Минприроды, 1992. – 58 с.
3. **Протасов В.Ф., Молчанов А.В.** Экология, здоровье и природопользование в России. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 528 с.
4. **Лотош В.Е.** Теоретические основы критериального ранжирования процессов природопользования // Экономика природопользования. – 1998. – № 1. – С. 96-100.
5. **Румянцев Г.И., Новиков С.М.** Проблемы прогнозирования токсичности и риска воздействия химических веществ на здоровье населения // Гигиена и санитария. – 1997. – № 6. – С. 13-18.
6. **Горшков В.Г.** Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. «Теорет. и общ. вопр. географии». – 1990. – Т.7. – 238 с.
7. **Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А.** Физическая химия. – М.: Металлургия, 1976. – 543 с.
8. **Кондратьев К.Я.** Глобальная экология и требования к данным наблюдений. – СПб.: Наука, 1992. – 92 с.
9. **Гетманова Л.Д.** Учебник по логике. – М.: Владос, 1995. – 303 с.
10. **Рамад Ф.** Основы прикладной экологии: Пер. с фр. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 544 с.