

Глобальные изменения, кризисы и катастрофы: проблемы и достижения современной экологии

Лекция 8

Устойчивость экологических систем.

Устойчивые и неустойчивые состояния,
критические переходы и «точки слома» (tipping points).

Примеры потери устойчивости
и перехода экосистем в новое, как правило,
нежелательное для человека состояние.

Признаки приближения к точке потери устойчивости.

Население Земли: «Сверхэкспоненциальный» рост

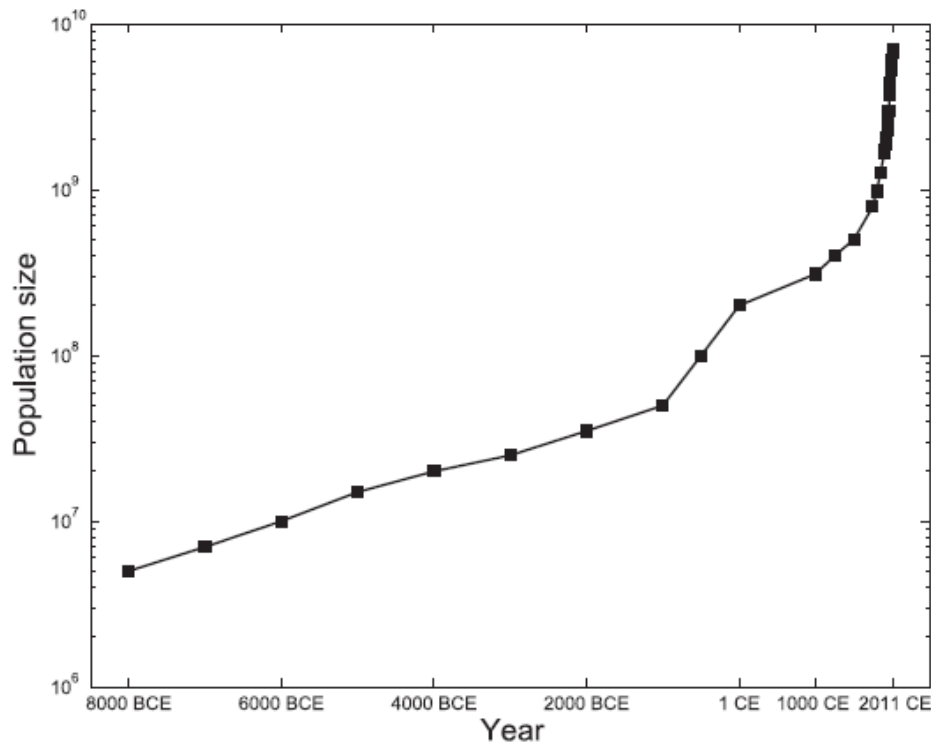


Fig. 1. Census (rather than effective) population size is presented on a logarithm scale over the past 10,000 years, from about 5 million at 8000 BCE to about 7 billion today from data in (1, 3, 30, 31). The depicted linear increase (on the log scale) through most of the presented epoch denotes exponential growth of relatively constant percentage increase in population size per year. An acceleration of that increase starting in the Common Era is evident.

Обратите внимание, что шкала на оси ординат – логарифмическая. Это значит, что экспоненциальный рост изображается прямой линией. Примерно с начала нашей эры рост передается вогнутой кривой, что соответствует росту быстрее экспоненциального.

Источник: Alon Keinan and Andrew G. Clark. Recent Explosive Human Population Growth Has Resulted in an Excess of Rare Genetic Variants. *Science*. 2012. V. 336. P. 740-743.

Catastrophic shifts in ecosystems

Marten Scheffer*, Steve Carpenter†, Jonathan A. Foley‡, Carl Folke§ & Brian Walker||

* Department of Aquatic Ecology and Water Quality Management, Wageningen University, PO Box 8080, NL-6700 DD Wageningen, The Netherlands

† Center for Limnology, University of Wisconsin, 680 North Park Street, Madison, Wisconsin 53706, USA

‡ Center for Sustainability and the Global Environment (SAGE), Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin, 1225 West Dayton Street, Madison, Wisconsin 53706, USA

§ Department of Systems Ecology and Centre for Research on Natural Resources and the Environment (CNM), Stockholm University, S-10691 Stockholm, Sweden

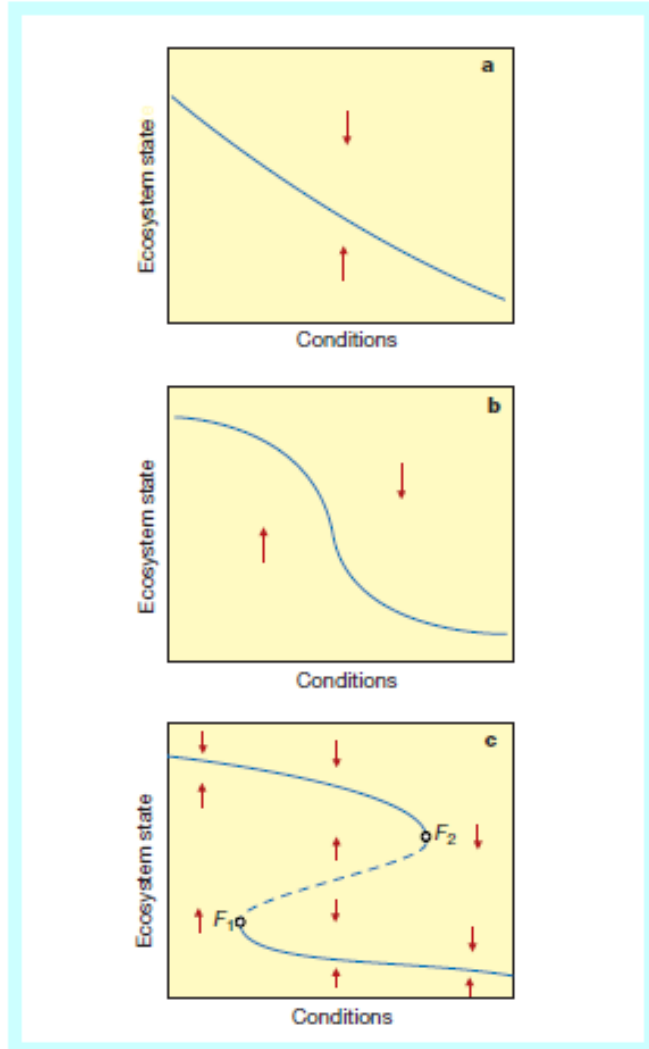
|| CSIRO Sustainable Ecosystems, GPO Box 284, Canberra, Australian Capital Territory 2601, Australia

All ecosystems are exposed to gradual changes in climate, nutrient loading, habitat fragmentation or biotic exploitation. Nature is usually assumed to respond to gradual change in a smooth way. However, studies on lakes, coral reefs, oceans, forests and arid lands have shown that smooth change can be interrupted by sudden drastic switches to a contrasting state. Although diverse events can trigger such shifts, recent studies show that a loss of resilience usually paves the way for a switch to an alternative state. This suggests that strategies for sustainable management of such ecosystems should focus on maintaining resilience.

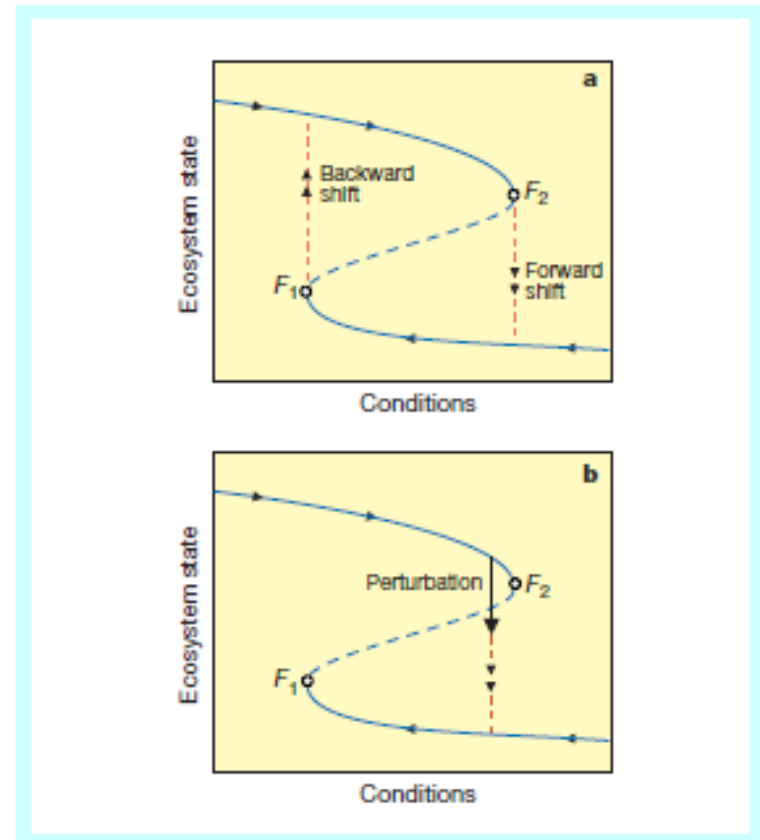
Все экосистемы находятся под воздействием постоянно меняющегося климата, поступления биогенов, фрагментации местообитаний или эксплуатации биоты. Общепринятая точка зрения состоит в том, что в ответ на постепенное изменение условий природные системы также меняются постепенно. Однако исследования, проведенные на озерах, коралловых рифах, в океанах, лесах и пустынях показывают, что плавные изменения экосистем могут прерываться внезапными переходами в новое состояние. Хотя разные события могут играть роль спускового крючка для таких внезапных переходов, общим для них является потеря «упругости», то есть возможности вернуться в первоначальное состояние.

Теория критических переходов (regime shifts) (1)

Бифуркация, или катастрофа,
типа складки (нижний рисунок)



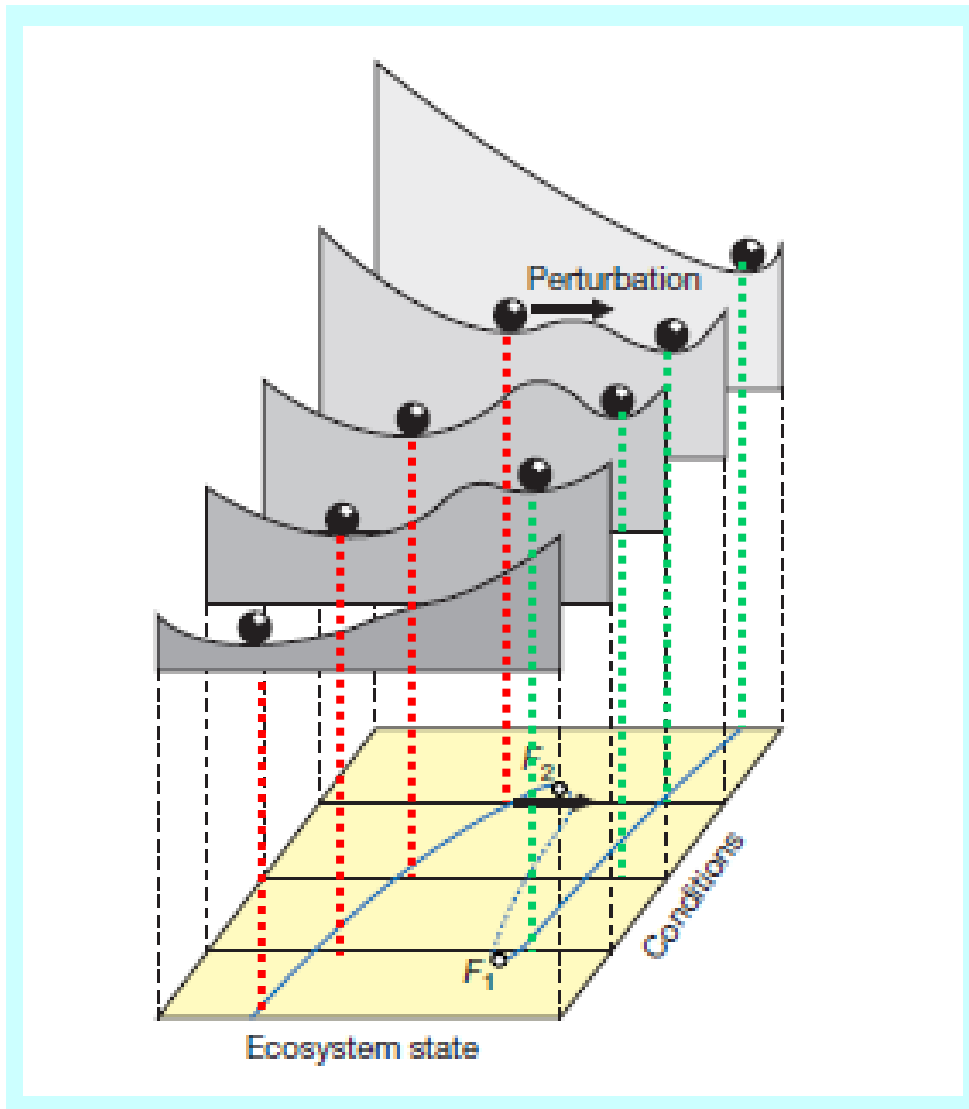
Явление гистерезиса



Источник: Scheffer M. et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature. V. 413. P. 591-596

Теория критических переходов (regime shifts) (2)

Ландшафт состояний системы и множество устойчивых состояний

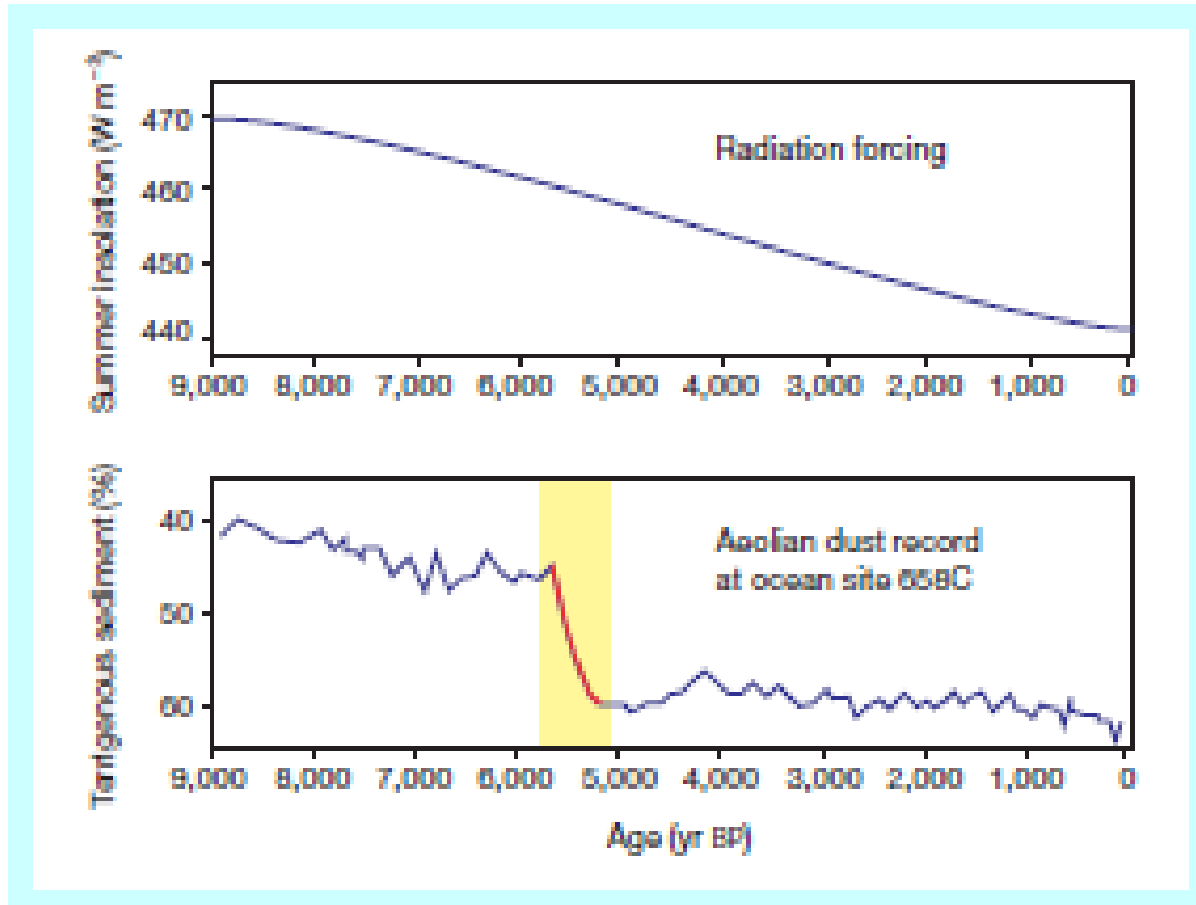


Этот рисунок наглядно иллюстрирует характерный признак приближения к «точке слома»: “as a rule, dynamical systems become “slow” when a critical point is approached as conditions are gradually changing” (Dakos et al. 2008. Slowing down as an early warning signal for abrupt climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. V. 105. P. 14308-14312). Рисунок показывает, как по мере приближения точке слома «горб» между двумя положениями равновесия уплощается. Это соответствует большей инерционности системы вблизи положения равновесия.

Источник: Scheffer M. et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature. V. 413. P. 591-596

Примеры экологических катастроф
как предполагаемых критических переходов в экосистемах (1)

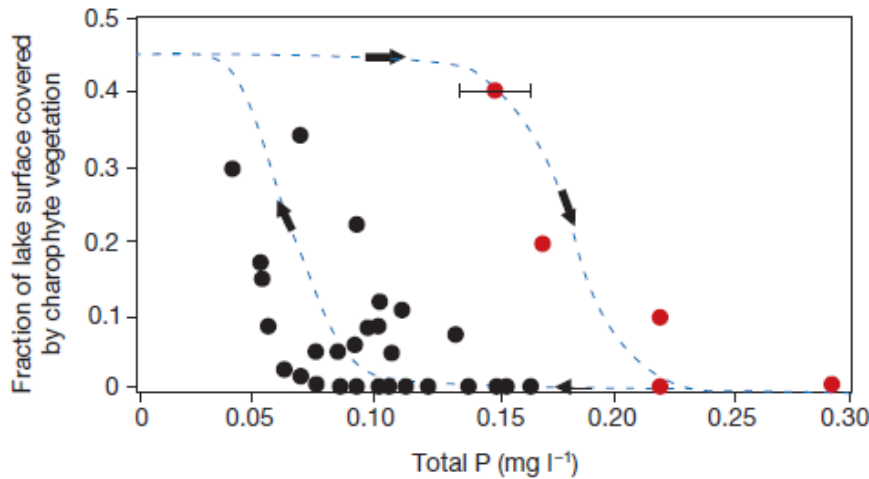
Экологическая катастрофа на месте современной Сахары,
случившаяся примерно 5.5 тыс. лет назад



Источник: Scheffer M. et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature. V. 413. P. 591-596

Примеры экологических катастроф как предполагаемых критических переходов в экосистемах (2)

Резкое падение прозрачности мелководного озера при усилении притока биогенов (эвтрофирования)



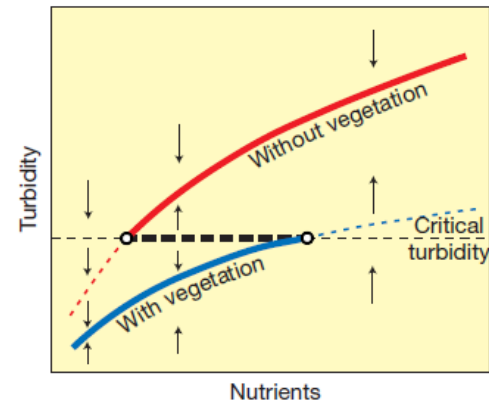
Явление гистерезиса
в природе

Феноменология процесса



Chara

И его механизм



Источник: <http://biology.unm.edu/>

Источник: Scheffer M. et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature. V. 413. P. 591-596.

Свидетельства существования альтернативных устойчивых состояний, базирующиеся на реальных данных

Сдвиг во временном ряду данных

Бимодальное распределение состояний системы

Зависимость, распадающаяся на две

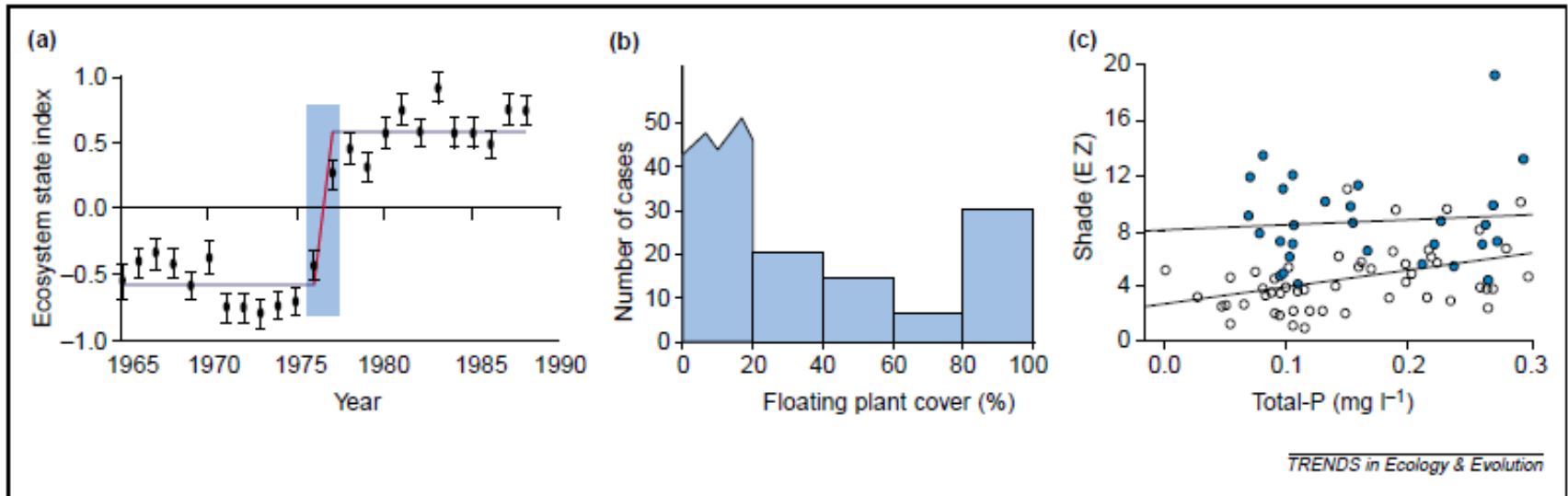
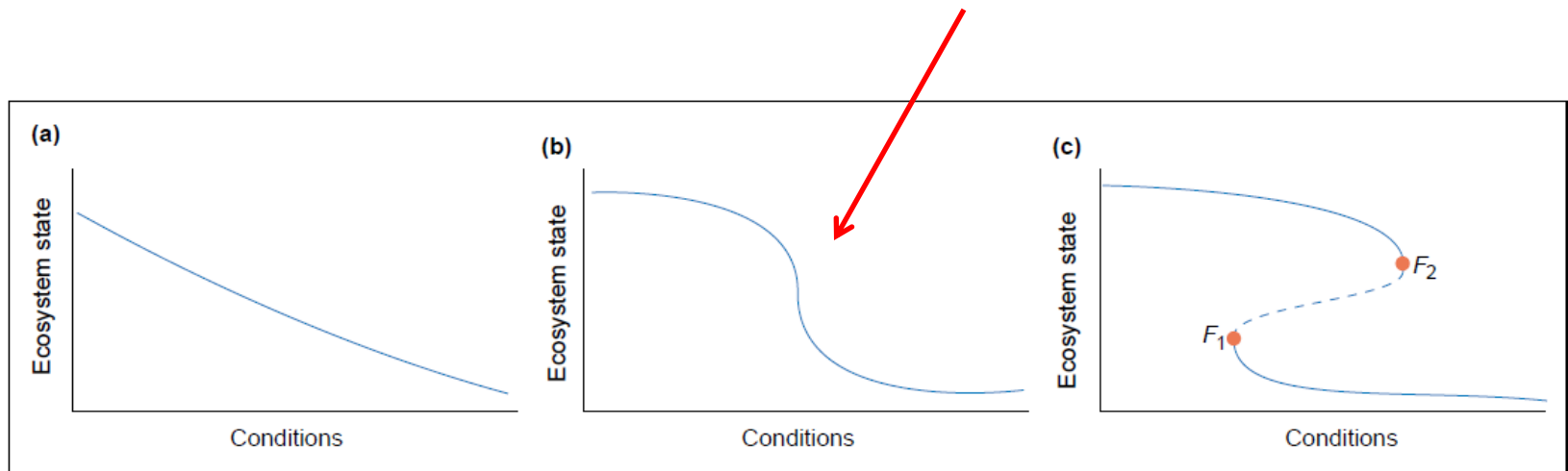


Figure 3. Three types of hints of the existence of alternative attractors from field data: (a) shift in a time series, (b) multimodal distribution of states, and (c) dual relationship to a control factor. The specific examples are (a) regime shift in the Pacific Ocean ecosystem (shaded) (modified with permission from [4]), (b) bimodal frequency distribution of free floating plants in a set of 158 Dutch ditches (modified with permission from [6]), and (c) different relationships between underwater shade and the total phosphorus concentration for shallow lakes dominated by Cyanobacteria (blue circles) and lakes dominated by other algae (open circles) (modified with permission from [62]).

Источник: Marten Scheffer and Stephen R. Carpenter. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. Trends in Ecology and Evolution. 2003. V. 18. P. 648-656.

Однако не всякий сдвиг во временном ряду данных свидетельствует об альтернативных устойчивых состояниях

«Скачок во временном ряду данных не обязательно свидетельствует об альтернативных аттракторах. Внезапный сдвиг может быть результатом ступенчатого изменения контролирующей переменной (например, резкого изменения температуры) или же возникать в результате того, что контролирующая переменная перешла через пороговое значение, которое никак не связано с бифуркациями.»



Источник: Marten Scheffer and Stephen R. Carpenter. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. Trends in Ecology and Evolution. 2003. V. 18. P. 648-656.

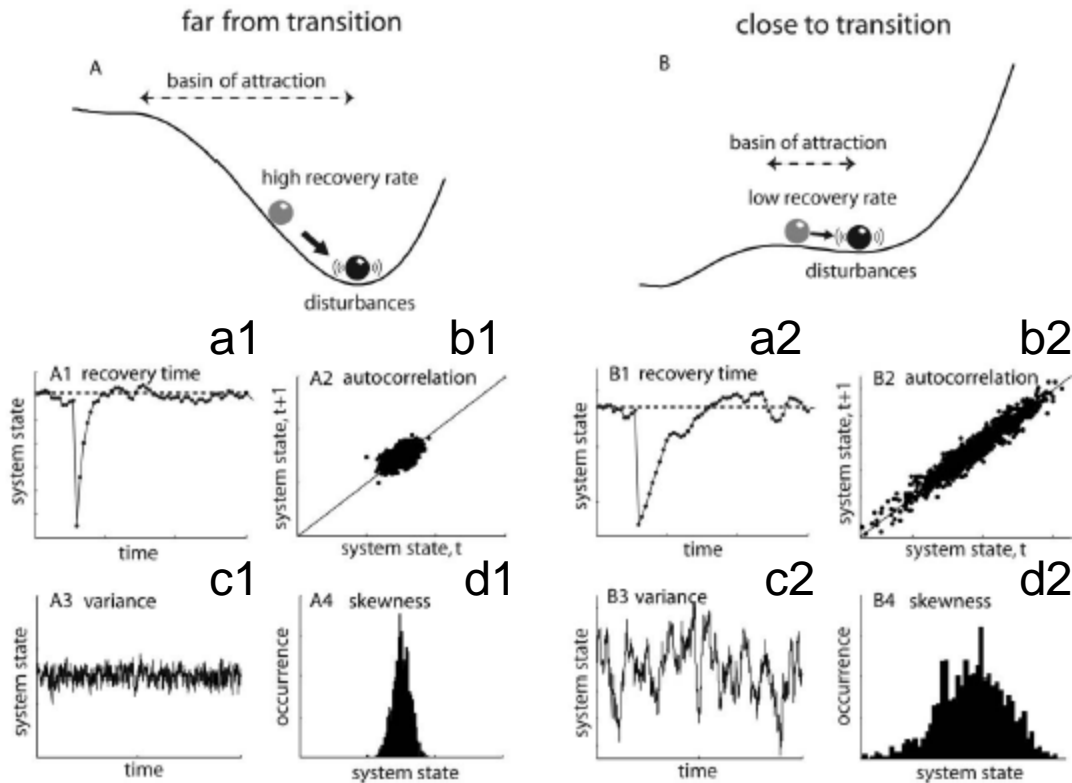
Признаки приближения к «точке слома» (точке потери устойчивости) (1)

«Recent theoretical work suggests that state shifts due to fold bifurcations are probably preceded by general phenomena that can be characterized mathematically: a deceleration in recovery from perturbations ('critical slowing down'), an increase in variance in the pattern of within-state fluctuations, an increase in autocorrelation between fluctuations, an increase in asymmetry of fluctuations and rapid back-and-forth shifts ('flickering') between states.» (Barnosky et al. Nature. 2012. V. 486. P. 52-58.)

Недавние теоретические работы свидетельствуют, что изменениям состояния системы, вызванным бифуркацией складки, предшествуют общие явления, которые можно характеризовать математически: медленное возвращение к исходному состоянию после возмущений («критическое замедление»), увеличение дисперсии флуктуаций системы, увеличение автокорреляции между флуктуациями, увеличение асимметрии статистического распределения флуктуаций.

Признаки приближения к «точке слома» (точке потери устойчивости) (2)

Вдали от «точки слома» Вблизи «точки слома»

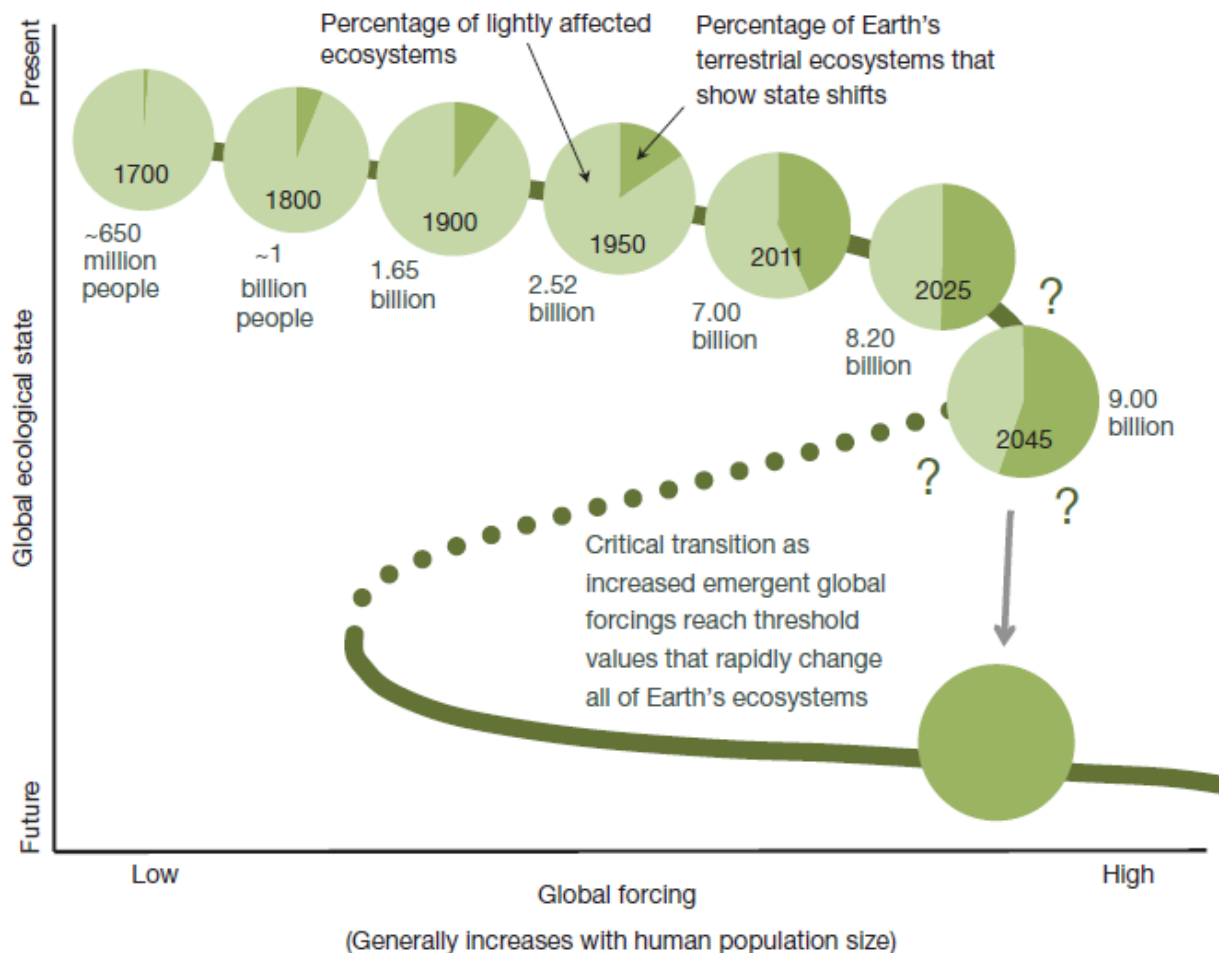


- Быстрое и медленное возвращение к исходному состоянию после возмущения (a1 vs. a2)
- увеличение автокорреляции между флуктуациями (b2 vs. b1)
- увеличение дисперсии флуктуаций (c2 vs. c1)
- увеличение асимметрии стат. распределения флуктуаций (d2 vs. d1)

Figure 1: Balls and cups representation of the basin of attraction of a system with alternative stable states. A, Far from transition, the state of the system lies in a broad basin of attraction. Small disturbances to equilibrium are damped by high recovery rates back to equilibrium. As a result, the time to recover from a disturbance is short (A1). When monitoring the state of the system in time, the time series is

Источник: Dakos et al. Slowing Down in Spatially Patterned Ecosystems at the Brink of Collapse. Am. Nat. 2011. V. 177. P. E153-E166.

Численность населения Земли и доля земной поверхности, подверженной воздействию человека, как возможный индикатор приближения биосферы к «точке слома»



Источник: Barnosky et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere. Nature. 2012. V. 486. P. 52-58.