

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

Дмитрий Геннадьевич Замолодчиков
Леонард Владимирович Полищук

Биологический факультет МГУ

leonard_polishchuk@hotmail.com

Лекция 1

Современная экология (общий обзор)

Экология – наука о взаимоотношениях организмов (популяций) между собой и с окружающей средой

«Термин экология был введен Э. Геккелем в 1866 г. Биологический энциклопедический словарь (1989) определяет экологию как «биологическую науку, изучающую организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, биоценозов (сообществ), биогеоценозов (экосистем) и биосферы» ... Это определение может нравиться или нет, но в самом существенном оно бесспорно: **экология – это биологическая наука, изучающая надорганизменные системы** (выделено ЛП). С другой стороны, в печати или в устной речи мы постоянно сталкиваемся со словосочетаниями типа «экология памятников», «экология языка», «экология культуры», даже «**экология нашего двора**». ... **Еще смешнее выглядят словосочетания «плохая экология» или «хорошая экология»** (выделено ЛП). Этак можно договориться до чего угодно. Скажем, в моем любимом городе Феодосии «плохая геометрия»; евклидовы законы там не соблюдаются, поскольку город расположен на подковообразном склоне.» (Е.А. Нинбург. Введение в общую экологию. М. 2005, с. 6)

Уровни организации жизни и предмет экологии:

Э
К
О
Л
О
Г
И
Я

Э
К
О
Л
О
Г
И
Я

Биосфера (живая оболочка Земли, «пленка жизни»)

Экосистема (сообщество + абиотическая среда, например, экосистема саванны, включающая львов и зебр)

Сообщество (взаимодействующие популяции разных видов, например, потребители и их пища: львы и зебры)

Популяция (организмы одного вида, живущие на ограниченной территории и более или менее свободно скрещивающиеся)

Организм

Органы (сердце, легкие, почки)

Ткани
(эпителиальная, мышечная, нервная)

Клетки

Биологические молекулы (ДНК, РНК, АТФ)

Объем экологии

(в прямом и переносном смысле слова)

Вес этой относительно недавно (2009 г.) вышедшей сводки, в которой каждому из выделенных авторами > 90 разделов экологии уделено лишь около 10 страниц, - почти 2 кг!

The Princeton Guide to Ecology

Edited by

Simon A. Levin

Associate editors:

Stephen R. Carpenter,

H. Charles J. Godfray,

Ann P. Kinzig,

Michel Loreau,

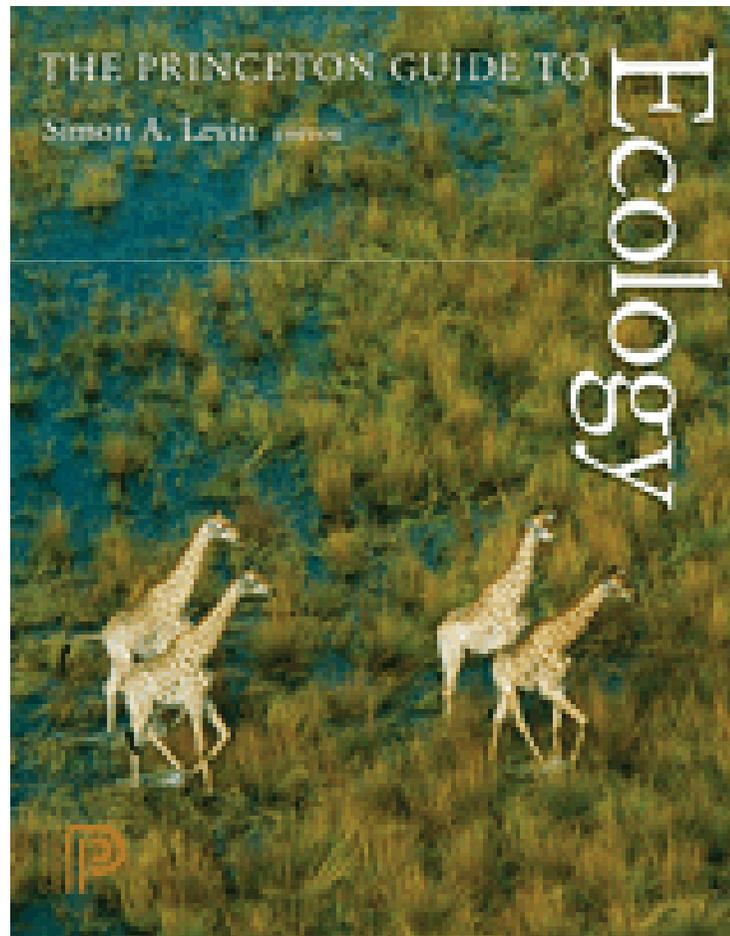
Jonathan B. Losos,

Brian Walker &

David S. Wilcove.

Princeton Univ. Press,

2009. 848 pp.



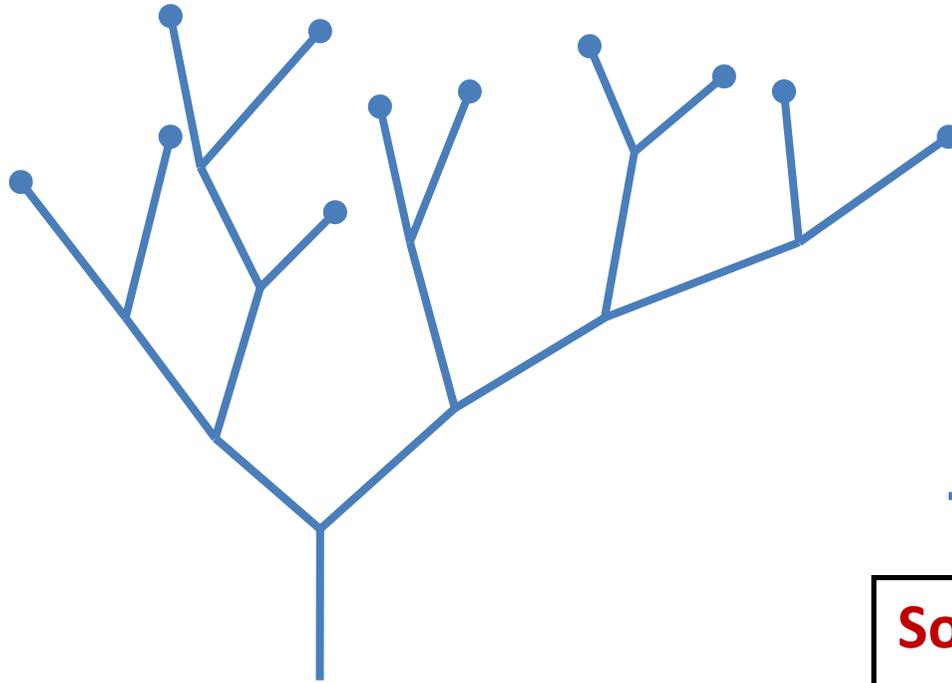
Структура экологии

согласно

The Princeton Guide to Ecology:

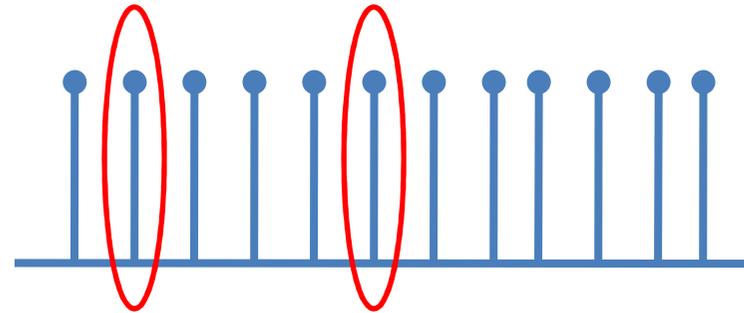
- аутэкология
- популяционная экология
- сообщества и экосистемы
- ландшафты и биосфера
- охрана природы (conservation biology)
- какую пользу экосистемы приносят человеку (ecosystem services)
- управление биосферой (biosphere management)

Как устроена экология, или Чем отличается зрелая наука от незрелой



Hard Science (зрелая наука)
Образ:
(филогенетическое) дерево

Пример зрелой науки - физика



Soft Science (незрелая наука)
Образ:
(филогенетический) газон

Экология ближе к незрелой науке ...

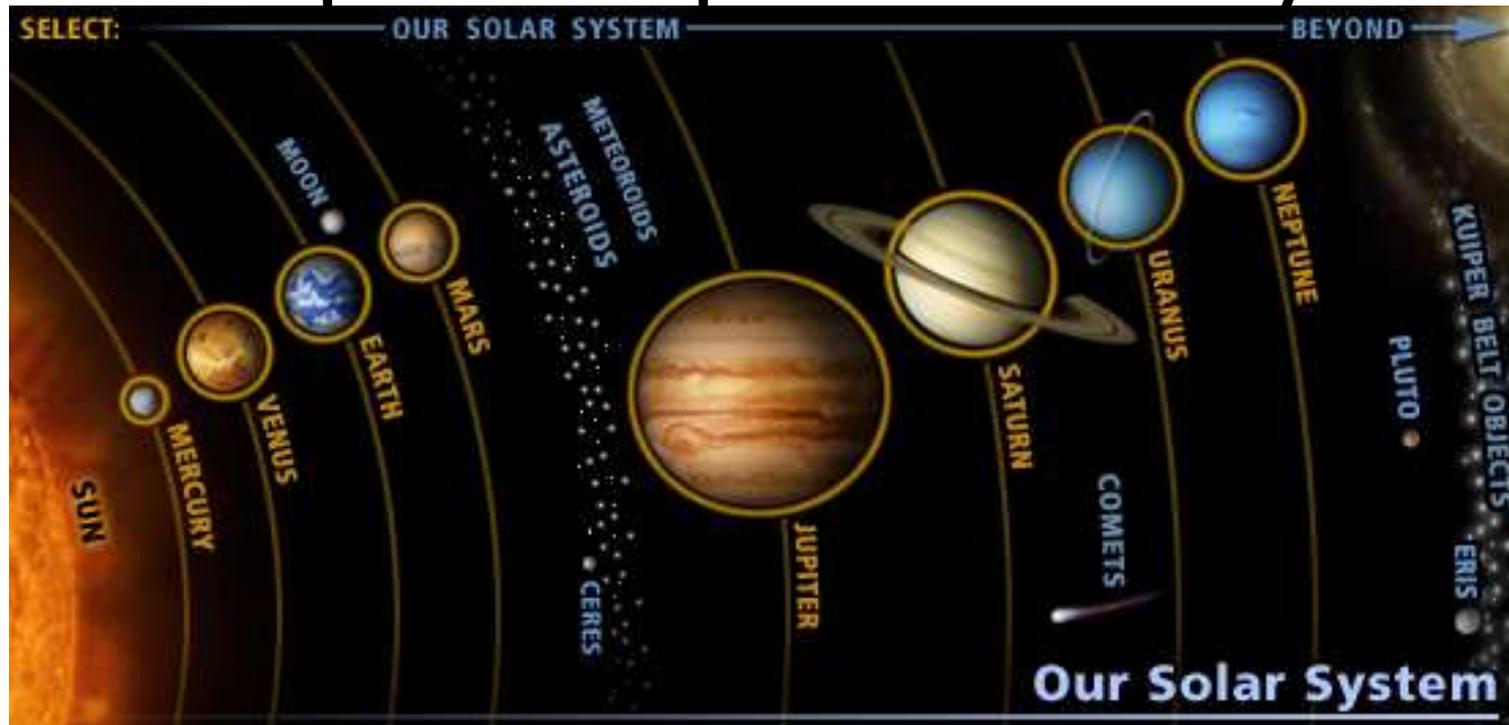
Что умеет и чего не умеет ЭКОЛОГИЯ

В экологии нет сильной предсказывающей теории, способной к локальному прогнозу поведения конкретных объектов (популяций, сообществ, экосистем, биосферы)

Пример такой теории дает нам физика (небесная механика)

Однако в экологии есть глобальные, то есть оперирующие средними значениями, зависимости. Эти зависимости относятся к области **макроэкологии**.

Высокий идеал количественной науки: открытие Леверье планеты Нептун



Французский математик Урбен Леверье **предсказал** положение Нептуна, исходя из несоответствия между наблюдаемой орбитой Урана и той, которая должна была бы быть согласно законам Кеплера и Ньютона. Иоганн Галле направил телескоп на указанную Леверье точку небесного свода и действительно **нашел** там новую планету!

1846 г. – открытие Нептуна

1848 г. – избрание Леверье иностранным членом Петербургской Академии Наук

Схема Солнечной системы: <http://solarsystem.nasa.gov/planets/index.cfm>

Первое наблюдение Нептуна – триумф Ньютоновской механики

«Докторская диссертация Галле, законченная в 1845, была сокращённым и критическим обсуждением наблюдений Урана Оле Ромером в дни с 20 октября до 23 октября 1706. Приблизительно в 1845 он послал копию своего тезиса Урбену Леверье, но получил ответ годом позже, 18 сентября 1846. Ответ был прочитан Галле 23 сентября, и в нём Леверье попросил, чтобы он (Галле) смотрел на определённую область неба, чтобы найти предсказанную новую планету, которая объяснит волнения Урана. В ту же самую ночь, после того, как Энке* дал ему разрешение (сам Энке не поддерживал Галле), объект, соответствующий описанию, был найден, и за следующие два вечера было подтверждено, что он является планетой.»

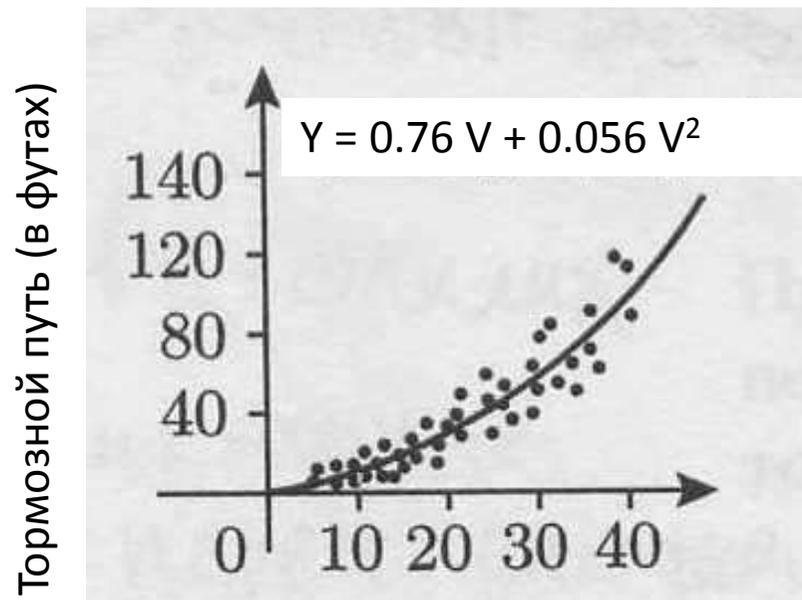
(Википедия, Иоганн Готфрид Галле)

*Иоганн Энке – директор Берлинской обсерватории

«Скромный идеал» количественной науки

Не подумайте, что физика «все умеет». Обратите внимание на разброс эмпирических точек вокруг теоретической линии, которую предсказывает физика.

Зависимость между скоростью автомобиля и тормозным путем (расстоянием, которое автомобиль проходит после сигнала об остановке)



Скорость автомобиля V (в милях/час)

Источник: М.Б. Лагутин. Наглядная математическая статистика. М. 2007, с. 362

Одна из первых исследовательских программ экологии



Карл Францевич Рулье (1814-1858)

Фотография с сайта: <http://nasledie.enip.ras.ru/ras/view/person/general.html?id=42060746>

«Вместо путешествия в отдаленные страны, на что так жадно кидаются многие, **приляг к лужице, изучи подробно существа – растения и животных, ее населяющих,** в постепенном развитии и взаимно непрестанно перекрещивающихся отношениях организации и образа жизни, и ты для науки сделаешь несравненно более, нежели многие путешественники ...» (К.Ф.Рулье. 1852. О первом появлении растений и животных на Земле.)

Источник: К.Ф. Рулье и Н.А. Северцов – основоположники отечественной экологии животных <http://portaleco.ru/ocherki-istorii-ekologii-zhivotnyh/k-f-rule-i-n-a-sever%D1%81ov-osnovopolozhniki-otechestvennoj-ekologii-zhivotnyh.html>

И еще характерная цитата из К.Ф. Рулье:

“Подобно своему учителю И.А. Двигубскому он (Рулье) призывал: «Не гонись за диковинками тропических стран: изучи во всех подробностях животных своей родины», а от своих учеников требовал **«исследовать три вершка ближайшего к исследователю болота, относительно растений и животных и исследовать их в постепенном взаимном развитии ... посреди определенных условий».**” (В.В. Малахов. Пока горит свеча. М.: 2006, с. 10)

Исследовательская программа, которая 160 лет назад была новаторской и положила начало развитию экологии, как оказалось, ведет к довольно неконструктивным следствиям

Четыре закона Барри Коммонера (Barry Commoner, 1917-2012)*
(нас будет интересовать только первый из них**)

1. **Everything Is Connected to Everything Else (все связано со всем, или **все зависит от всего**)**
2. Everything Must Go Somewhere (все должно куда-то деваться)
3. Nature Knows Best (природа знает лучше)
4. There Is No Such Thing as a Free Lunch (ничто не дается даром)

* По Wikipedia, Википедия

* *второй, третий и четвертый больше похожи на политические лозунги партии близкой к «зеленым» или «экологистам», или же просто на соображения здравого смысла (Барри Коммонер баллотировался в президенты США в 1980 г. – набрал 0.27%, согласно Wikipedia)

«Первый закон Барри Коммонера»
просто неверен!

Причина: Правило Либиха

**«БОЧКА
Либиха» -
образ
правила
Либиха**

Minimum

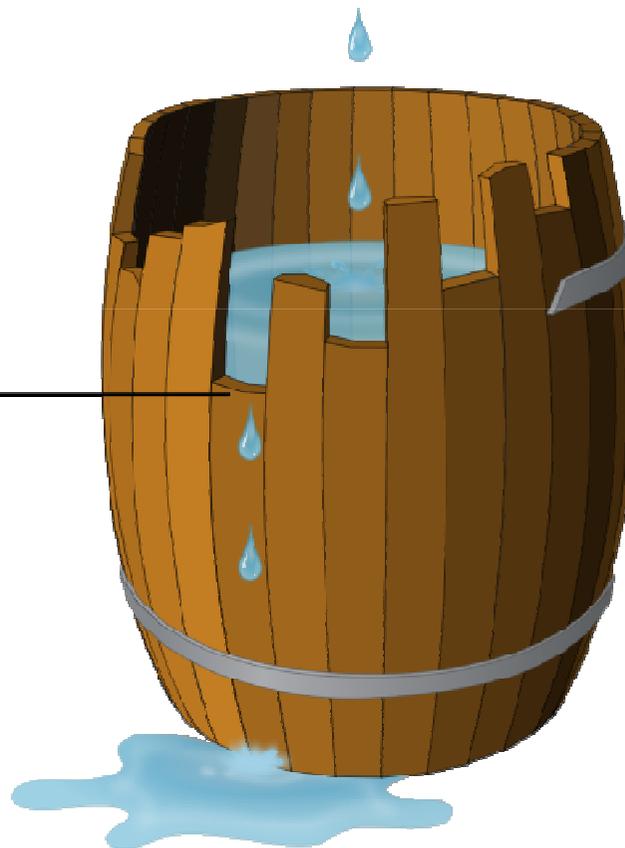
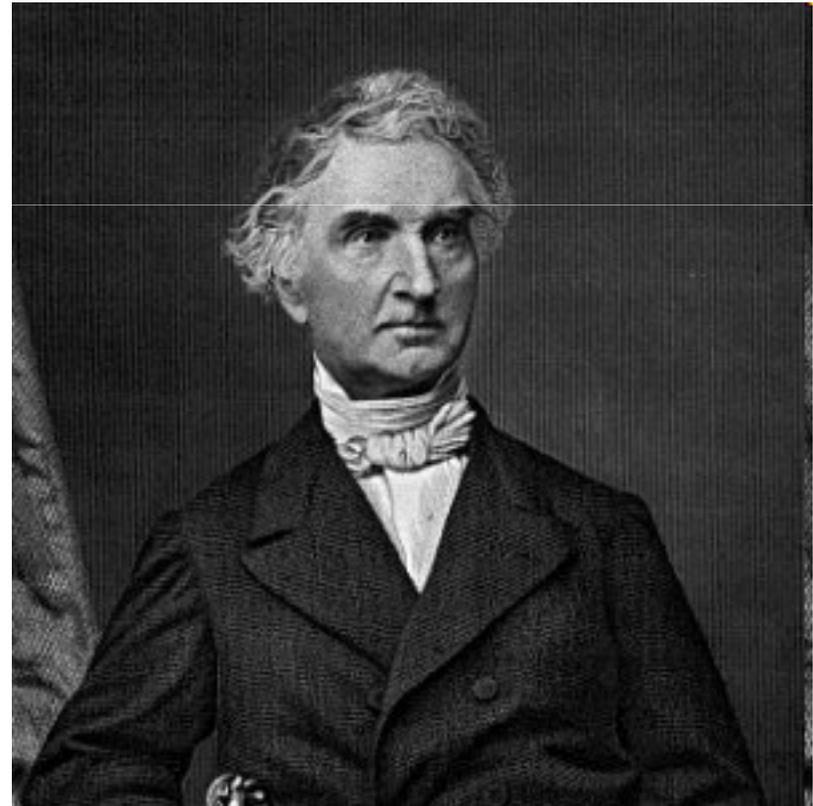


Рисунок с сайта http://en.wikipedia.org/wiki/Law_of_the_Minimum

Лимитирующие факторы

Факторы, ограничивающие (контролирующие) распространение и обилие вида или значение (уровень) какой-то экосистемной функции называются **лимитирующими факторами**

Юстус Либих
Justus von Liebig
(1803-1873)



Закон (или правило) Либиха:
**Лимитирует тот фактор,
который находится в наибольшем недостатке**

С фактором, находящимся в недостатке, сопряжена наблюдаемая скорость роста численности популяции r

**Экология –
разномасштабная,
разнотильная,
разноуровневая наука**

Экология как разномасштабная наука

Локальный
масштаб –
почти полное
отсутствие
усреднения

Глобальный
масштаб –
высокая
степень
усреднения

Популяционная
экология

Макроэкология

Более или менее
универсальные
инструменты
популяционного
анализа

Более или менее
универсальные
**экологические
зависимости**

Макроэкология и популяционная экология как две основные **исследовательские программы** современной экологии

Макроэкология

– Поиск универсальных* зависимостей

Популяционная экология

– Поиск универсальных* инструментов

В популяционной экологии нет универсальных зависимостей подобных тем, что есть в макроэкологии. Не значит ли это, что популяционная экология рискует превратиться в «коллекционирование марок» (Резерфорд)? Все-таки, наверное, нет. Вместо универсальных зависимостей плодотворным может оказаться поиск универсальных инструментов

Конечно, «универсальных» всегда с поправкой «более или менее» 😊

Универсальный инструмент - что это?

Своего рода термометр -
инструмент, пригодный в самых разных ситуациях ...



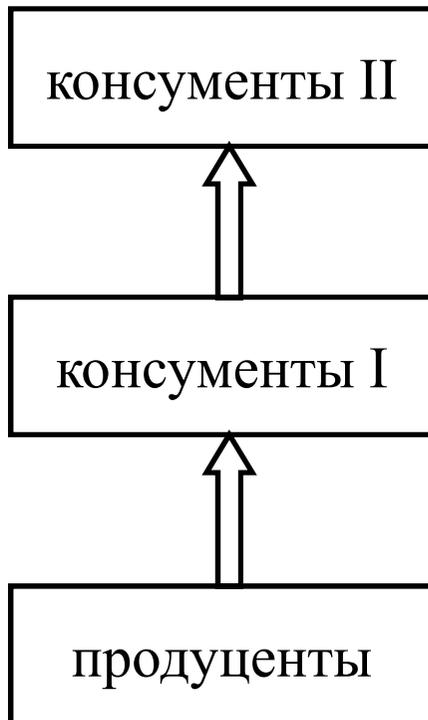
Изображения с сайтов: <http://nkozlov.ru/library/s318/d3458/>
<http://picasaweb.google.com/olgazubko>

Чем занимается популяционная экология (пример)

Трофическая цепь и трофический каскад

Эффект ресурса на потребителя –
движение энергии в цепях питания

Эффект потребителя на ресурс
(трофический каскад)



COMMUNITY STRUCTURE, POPULATION CONTROL,
AND COMPETITION

NELSON G. HAIRSTON, FREDERICK E. SMITH,
AND LAWRENCE B. SLOBODKIN

Department of Zoology, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan

The methods whereby natural populations are limited in size have been debated with vigor during three decades, particularly during the last few years (see papers by Nicholson, Birch, Andrewartha, Milne, Reynoldson, and Hutchinson, and ensuing discussions in the Cold Spring Harbor Symposium, 1957). Few ecological problems have been more important, since the method of regulation is still not known before we can understand nature and predict its behavior. Although discussion of the subject has usually been confined to single species populations, it is equally important in situations where two or more species are involved.

The purpose of this note is to demonstrate a pattern of population control in a community which is not generally accepted. It is based on a study of the population dynamics of a community of insects in a forest. Furthermore, the pattern reconciles conflicting interpretations by showing that populations in different trophic levels are expected to differ in their methods of control.

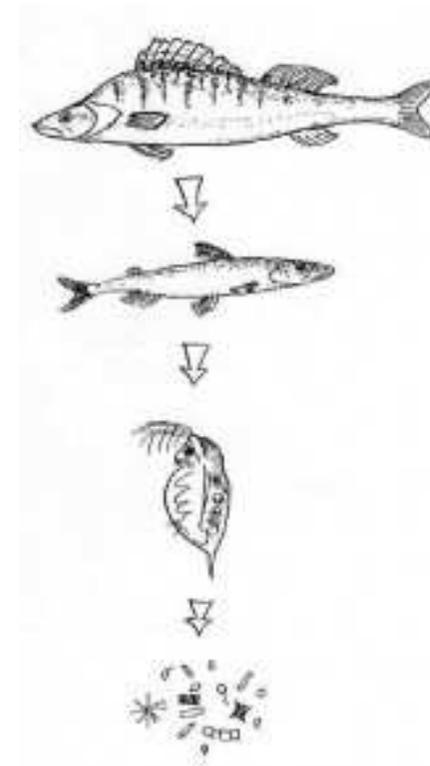
It is often stated that the population of a species is limited by the amount of food available to it. This is true for the population of a species which is limited by the amount of food available to it through photosynthesis in the biosphere. Apparent exceptions to this observation, such as bogs and ponds, are successional stages, in which the failure of decomposition hastens the termination of the stage. The rate of decomposition is limited by the amount of oxygen available to the decomposers, which is limited by the amount of oxygen available to the decomposers. It is shown to be negligible over geologic time (Hutchinson, 1957).

If virtually all of the energy fixed in photosynthesis does indeed flow through the food chain, then all populations must be limited by the amount of food available to them. There is no a priori reason why predators, behaviorally limited by the amount of food available to them, could not limit decomposition. However, it is possible that some populations may be limited in such ways. If so, however, others must consume the "left-over" food, so that the group as a whole remains food limited; otherwise, the population would be limited by the amount of food available to it.

Any population which is not resource limited must, in turn, be limited to a level below that set by its resources.

Our first three observations are interrelated. They apply primarily to terrestrial ecosystems. The first two observations are exceptions to the general picture, in which green plants by herbivores are limited to a level below that set by their resources.

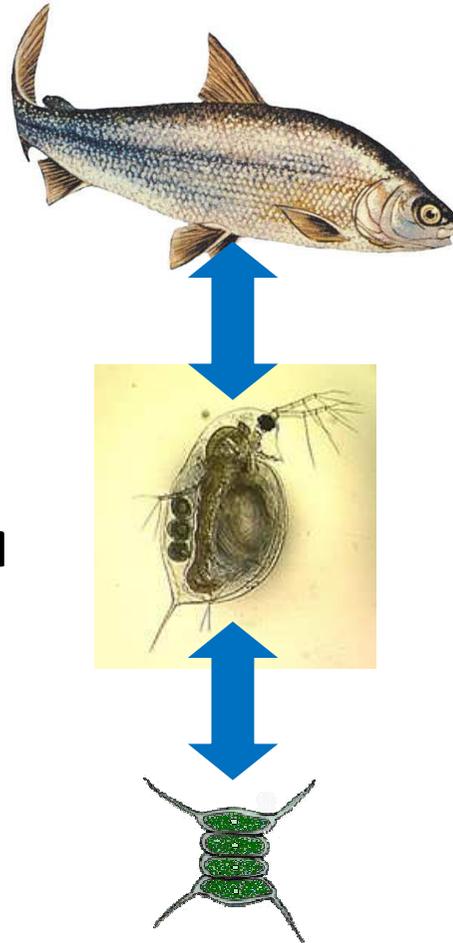
Почему окружающий нас мир «зеленый», или почему продуценты столь обильны? Гипотеза НСС: Растительные лимитируются хищниками и не лимитируют продуцентов



Источник: А.М. Гиляров.
Каскадный эффект в экосистемах. ТрВ, № 116,
6 ноября 2012 года

Два основных эффекта в трофических сетях – эффект «сверху» (top-down) и эффект «снизу» (bottom-up)

Как сравнить
силу воздействия
со стороны
хищников
(**top-down effect**)
с силой воздействия
со стороны
пищи
(**bottom-up effect**)?



Популяция дафний как бы «зажата» между хищниками (рыбами-планктофагами) и пищей (планктонными водорослями)

Чем это
отличается от
«все зависит
от всего»?

Размерно-избирательная элиминация планктонных рачков рыбами

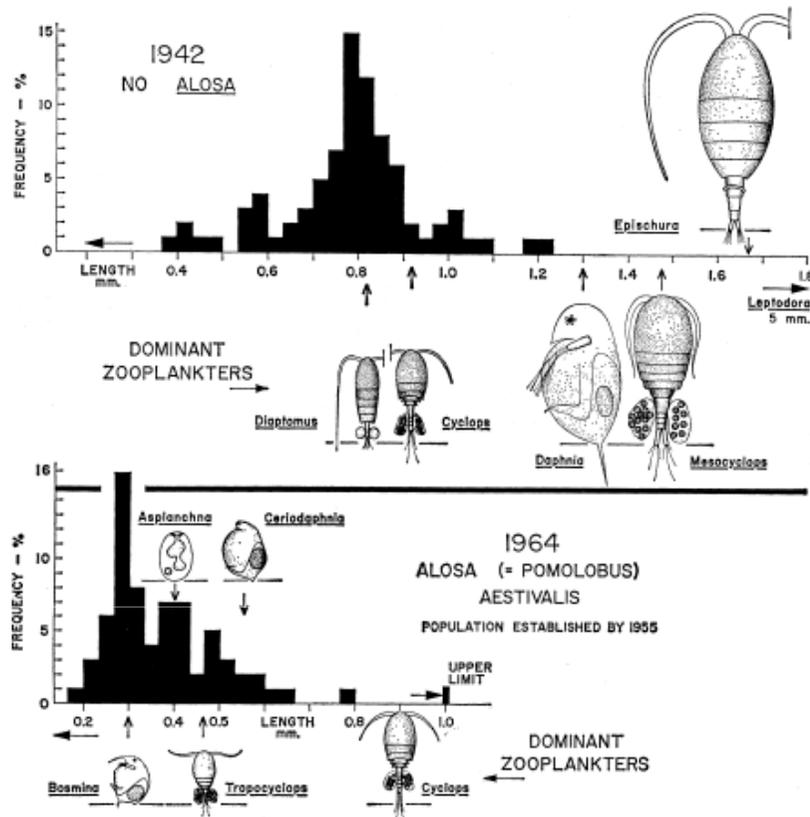


Fig. 4. The composition of the crustacean zooplankton of Crystal Lake (Stafford Springs, Connecticut) before (1942) and after (1964) a population of *Alosa aestivalis* had become well established. Each square of the histogram indicates that 1 percent of the total sample counted was within that size range. The larger zooplankters are not represented in the histograms because of the relative scarcity of mature specimens. The specimens depicted represent the mean size (length from posterior base lines to the anterior end) of the smallest mature instar. The arrows indicate the position of the smallest mature instar of each dominant species in relation to the histograms. The predaceous rotifer, *Asplanchna priodonta*, is the only noncrustacean species included; other rotifers were present but not included in this study.

Alosa (= Pomolobus) pseudoharengus

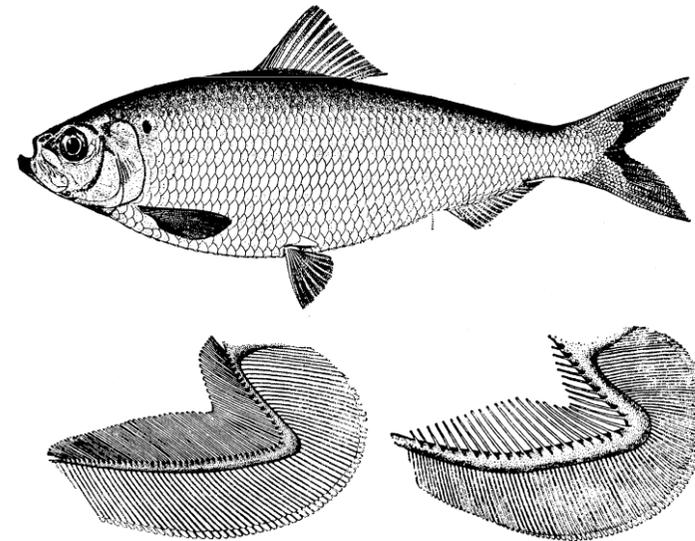


Fig. 1. *Alosa (= Pomolobus) pseudoharengus* (Wilson). Top, mature specimen, 300 mm long. Note that mouth opens obliquely. Bottom left, first branchial arch, with closely spaced gill rakers that act as a plankton sieve. Compare with (bottom right) the widely spaced gill rakers of *A. mediocris*, a species that feeds primarily upon small fish. [After Hildebrand (4), with the permission of the Sears Foundation for Marine Research, Yale University]

Brooks J. L., Dodson S. L.
Predation, body size, and composition of
plankton. Science. 1965. V. 150. P. 28-35

Сводка результатов лабораторных и компьютерных экспериментов по применению одного из инструментов популяционной экологии - отношения вкладов - к популяциям дафний

NR (no removal) – режим конкуренции

RS (removal-of-small) – элиминация молоди дафний («пресс беспозв. хищников»)

RL (removal-of-large) – элиминация взрослых дафний («пресс рыб»)

Treatment	Microcosm experiments				Computer simulations			
	F (SE)	A (SE)	$\ln\left(\frac{ ConA }{ ConF }\right)$ (SE)	$\frac{ ConA }{ ConF }$	F (SD)	A (SD)	$\ln\left(\frac{ ConA }{ ConF }\right)$ (SD)	$\frac{ ConA }{ ConF }$
NR	1.28 (0.08)	0.14 (0.009)	-0.35 (0.18)	0.70	1.22 (0.13)	0.30 (0.02)	-0.60 (0.50)	0.55
RS	2.05 (0.12)	0.23 (0.012)	0.75 (0.32)	2.12	2.35 (0.36)	0.27 (0.03)	-0.29 (0.48)	0.75
RL	3.22 (0.05)	0.12 (0.008)	0.78 (0.24)	2.18	3.39 (0.30)	0.17 (0.03)	0.72 (0.51)	2.05

Источник: Polishchuk et al. 2013. Oikos

Теперь необходимо проверить, приложим ли этот **инструмент к природным популяциям** ... Если да, то:

Мы пришли на берег водоема, бросили планктонную сеть, подсчитали плодовитость и долю взрослых особей в популяции дафний и ... определили ведущий фактор динамики численности этих дафний – недостаток пищи (возможно, с «примесью» беспозвоночных хищников) или пресс рыб (опять же, возможно, с «примесью» беспозвоночных хищников).

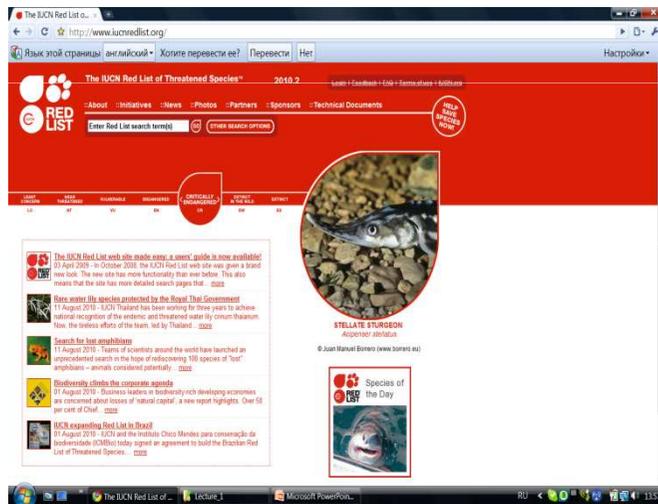
**Температура на нашем «экологическом термометре» – это
соотношение силы
воздействия
ведущих
экологических
факторов**

Фото: Е.А. Мнацаканова

Чем занимается макроэкология (пример)

Медленно размножающиеся виды чаще оказываются под угрозой вымирания

Chance of listing – технический термин, означающий вероятность попасть в **Красную книгу**, то есть оказаться под угрозой вымирания



Красная книга – источник данных по современному вымиранию

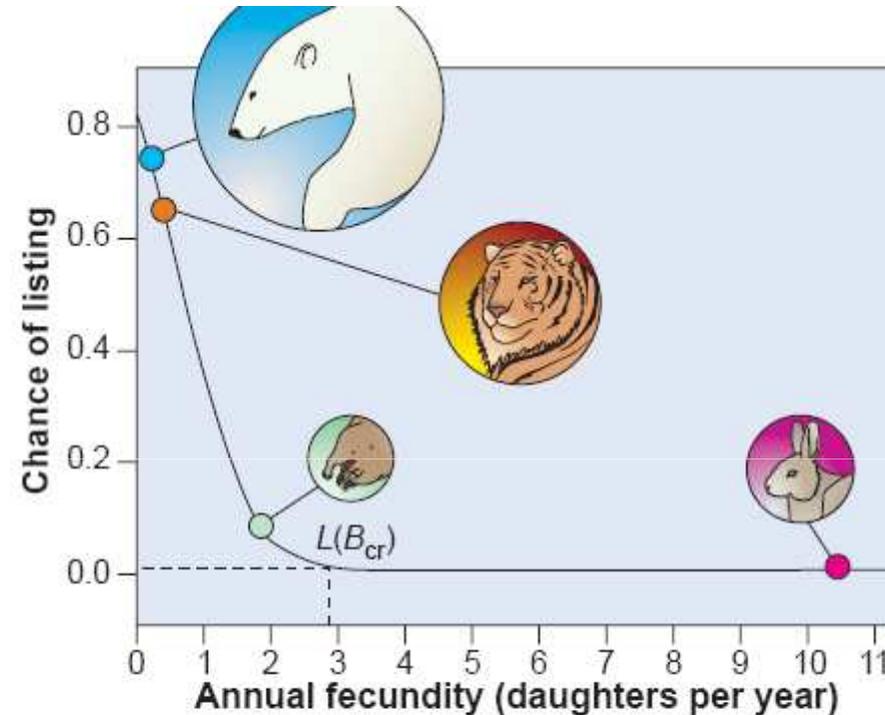


Fig. 1. The listing probability curve $L = [1 + \exp(-1.52 + 2.10B)]^{-1}$ as a function of annual fecundity B . The four representative species shown are polar bear, Siberian tiger, Russian desman, and rabbit (in order of increasing fecundity). The rabbit exemplifies a classical species with very high annual fecundity. Also shown is critical fecundity $B_{cr} = 2.9$ daughters per year.

Источник: Polishchuk L.V. Conservation priorities for Russian mammals. 2002. Science 297: 1123