

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2011. – Т. 20, № 1. – С. 5-13.

УДК 573.22 + 574

О ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА «ОТКРЫТИЯ» ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ

© 2011 Г.С. Розенберг*

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 2 июня 2010 г.

В статье демонстрируется возможность формализации процесса открытия экологических законов. Обсуждаются основные приемы открытия новых явлений и закономерностей.

Ключевые слова: закон, закономерность, открытие, теоретическая экология, метод аналогий.

Rozenberg G.S. *About possibility of formalization of process of «opening» of ecological laws.*

In article possibility of formalization of process of opening of ecological laws is shown. The basic receptions of opening of the new phenomena and laws are discussed.

Key words: the law, opening, theoretical ecology, a method of analogies.

«Закон как теоретический компонент науки представляет собой научное обобщение, кратко и точно выражающее существенные стороны, отношения и связи исследуемых явлений, предметов и систем» [Чернов, 1990, с. 3]. Сущность любой науки состоит в расширении списка законов природы и уточнения границ применимости для каждого из них. С этой точки зрения более конструктивной представляется дефиниция, в основе которой лежит следующая формулировка [Lundberg, 1947, p. 57]: «Закон природы есть выраженный в словесной или математической символике комплекс фундаментальных причинно-следственных связей ("если – то, следовательно"), устойчиво проявляющихся при взаимодействии материальных тел, который позволяет предсказывать результаты их повторных взаимодействий. Система законов природы, не изменяющихся со временем, и не допускающих исключений, ограничивает неопределенность последствий взаимосвязанных событий, и составляет собой каркас-основу, на которой строится здание любой науки».

Одним из примеров системы законов в физике может служить таблица ди Бартини – Кузнецова (см., например [Бартини, Кузнецов, 1974; Кузнецов, 2008]), в которой система физических величин использует в качестве основных размерных

* Розенберг Геннадий Самуилович, доктор биологических наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор, e-mail: genarozenberg@yandex.ru

величин только две: длину $[L]$ и время $[T]$; все остальные физические величины, включая массу, считаются производными от этих двух основных и представляются в виде произведений. Любая физическая величина в этой системе представляется общей формулой $[L^r T^s]$, где r и s – целые числа (положительные или отрицательные). Таким образом, вся совокупность физических величин, которые можно измерять, представляется бесконечной таблицей целочисленных степеней длины и времени.

Итак, реальная система экологических законов природы [Скворцов, 2004] призвана представить взаимосвязь законов, которые позволяли бы объяснять и предвидеть структуру и динамику экосистем.

Широко распространенным определением «научного открытия» является следующее: *открытие* – установление неизвестных ранее, объективно существующих закономерностей, свойств, явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровень познания (см. "Большая Советская энциклопедия" [1974, т. 18, с. 618]). При этом под «законом природы (англ. *laws of nature*)» понимаются объективно существующие, общие, устойчивые связи вещей, явлений природы, которые существенно влияют на их изменения [Яценко, 1999].

Очень интересными представляются размышления Г.С. Альтшуллера [1960, 1979, 1991; Альтшуллер и др., 1989] о «методике открывательства», о «технологии научного творчества». Все открытия он делит на две группы, «настолько существенно отличающиеся по всем факторам, что только удивляешься, как они объединены одним словом» [Альтшуллер, 1960]:

- открытия, состоящие в установлении нового явления (открытие икс-лучей В. Рентгеном, условных рефлексов И.П. Павловым, непрерывности растительного покрова Л.Г. Раменским и Г. Глизоном; Г.С. Альтшуллер считает, что эту группу открытий следовало бы называть «обнаружением», так как сущность нового явления отнюдь не открывается; новое явление просто впервые обнаруживается) или факта (географические, астрономические открытия и пр.; последнее не требует объяснения);

- открытия, состоящие в установлении закономерностей (открытие проявляется в объяснении уже известных явлений, сущность которых ранее была непонятна или не укладывалась в имеющиеся объяснения; установление И. Кеплером законов движения планет, объяснение эволюции растений и животных в борьбе за существование Ч. Дарвиным, колебательных процессов в системе «хищник – жертва» [закон А. Лотки и В. Вольтерра]).

Г.С. Альтшуллер [1960] делает здесь еще одно наблюдение: «интересно отметить, что это нашло стихийное отражение в терминологии: открытия явлений и закономерностей иногда называют "научными открытиями", невольно подчеркивая их отличие от простого установления конкретного факта... Если уж давать упрощенную схему, то можно сказать так: открытие явления есть установление нового *качества* материи, открытие закономерности есть установление *количественных соотношений*. Еще проще и грубее: в первом случае результат творчества – *новая информация*, во втором – *новая формула*» (выделено автором. – Г.Р.).

Если обобщить основные приемы открытия новых явлений и закономерностей Г.С. Альтшуллера [1960, 1979, 1991; Altshuller, 1988, 1999; Альтшуллер и др., 1989], то их можно свести в таблицу.

Совершить открытие нового факта¹, явления или закономерности – дело весьма престижное для любого естествоиспытателя. Не только престижное, но и сложное, и не без удачи. В этой работе я не ставлю целью совершить открытие нового экологического факта или явления, а вот на «подвиг» по открытию экологических закономерностей и законов меня подталкивает очень верное, на мой взгляд, суждение Г.С. Альтшуллера [1960]: «ученые второго типа (*устанавливающие новые закономерности. – Г.Р.*) намного выше (по уровню творчества) ученых первого типа (*открывающие новые явления. – Г.Р.*). Открыть явление можно и случайно. Можно и не совсем случайно, но все-таки на дармовщину, стремясь открыть явление на пять копеек, открываешь нечто, стоящее сто рублей. Открытие же новых закономерностей требует – в подавляющем большинстве случаев – целенаправленных усилий». Не обижайтесь, ученые первого типа...

Таблица

Основные приемы открытия новых явлений и закономерностей

Приемы	Примеры
Открытие новых явлений	
<ul style="list-style-type: none"> • обращать внимание на уже известные и отличающиеся странностью явления (поискать аномалию); 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Химия</i>: открытие инертного газа аргона через 100 лет после того, как при исследовании воздуха была обнаружена некая, ни с чем не соединяющаяся часть. • <i>Экология</i>: описание непрерывности растительного покрова Л.Г. Раменским и Г. Глизоном [Миркин, 1989а; Миркин, Наумова, 1998].
<ul style="list-style-type: none"> • обращение внимания на белые пятна в пределах уже известных явлений; 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Астрономия</i>: по результатам правильного возрастания расстояний между планетами и Солнцем было указано на «пробел» между Марсом и Юпитером, что послужило теоретическому предсказанию и нахождению ранее неизвестной планеты (точнее, пояса астероидов [Церера, Паллада, Юнона, Веста и др.]). • <i>Экология</i>: открытие В. Шелфордом закона толерантности (максимума) при наличии уже известного закона минимума Ю. Либиха [Одум, 1975; Розенберг и др., 1999].
<ul style="list-style-type: none"> • обращение внимания на белые пятна за пределами известных явлений; 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Физика</i>: Х. Эрстед показал, что электричество может создавать магнетизм, а М. Фарадей – что можно использовать магнетизм для получения электричества. • <i>Экология</i>: открытие Г. Каулесом системогенетического закона для экосистем,

¹ Я рад, например, за своих коллег, которые открывают новые виды растений [Саксонов, 1990; Белоус, Лактионов, 2009] и животных [Зинченко и др., 2009; Зорина, Зинченко, 2009].

	<p>подобного <i>биогенетическому закону</i> Э. Геккеля для организмов (онтогенез повторяет филогенез [Розенберг и др., 1999]).</p>
<ul style="list-style-type: none"> оценка известных явлений с новой точки зрения; 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Астрономия</i>: классический пример – гео- и гелиоцентрические системы мира. <i>Экология</i>: в начале XX в. превалировали организменные представления об экосистемах (экосистема-организм, биосфера-организм). В недрах этой парадигмы зародились представления о непрерывности экосистем [McIntosh, 1985; Миркин, 1989а,б; Миркин, Наумова, 1998].
<ul style="list-style-type: none"> открытие новых явлений путем комбинирования старых (явления А и Б известны; открытие состоит в том, что обнаруживается явление В, состоящее во взаимосвязи А и Б; возможны и более длинные цепочки: формула А + Б дает новое явление В, затем В + известное Г дает новое явление Д); 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Физика и химия</i>: <ul style="list-style-type: none"> Периодичность солнечной активности была известна, периодичность явлений в ионосфере – тоже; открытие состояло в том, что было найдено явление взаимосвязи между активностью солнечных пятен и функциями ионосферы. Периодичность в солнечной активности была известна, периодичность в слипании коллоидов – тоже; сначала установили взаимосвязь между этими явлениями, затем полученное новое явление связали с известным явлением, состоящим в том, что тело человека – коллоидальная система; в итоге было открыто явление взаимосвязи некоторых процессов в организме с периодичностью солнечной активности. <i>Экология</i>: к 30-м годам XX в. были известны <i>концепция моноклимакса</i> Ф. Клементса и <i>концепция поликлимакса</i> А. Тэнсли. Это позволило Р. Уиттекеру предложить <i>концепцию климакс-мозаики</i> (непрерывно варьирующий под воздействием эдафических факторов климакс однородной территории [Миркин и др., 1989]).
<ul style="list-style-type: none"> обратный прием (исследование явления А с целью установления, что оно есть совокупность двух ранее неизвестных явлений Б и В); 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Физика</i>: известное радиоактивное излучение путем применения магнитного поля было разложено на три луча, что позволило открыть явления альфа-, бета- и гамма-радиоактивности. <i>Экология</i>: полная аналогия с явлениями альфа-, бета- и гамма-разнообразия

<ul style="list-style-type: none"> • по аналогии (есть группа явлений и, допустим, есть другая более или менее похожая на нее группа явлений; тогда можно рассчитывать, что явлению А в первой группе соответствует еще не известное явление А₁ во второй группе); в основе метода аналогии лежит принцип замещения исследуемого объекта, процесса другим. 	<p>[Уиттекер, 1980].</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Физика</i>: Дж. Максвелл сопоставил созданную им классическую теорию электромагнетизма с гидродинамикой несжимаемых жидкостей. • <i>Экология</i>: <ul style="list-style-type: none"> ○ При прогнозировании влияния будущего водохранилища на окружающую среду можно использовать данные по уже имеющемуся водохранилищу, которое находится в сходных условиях. ○ Ю. Одум проводит аналогию по воздействию на окружающую среду между крупным городом и вулканом. ○ Прослежены экологические аналогии между тихоокеанской миногой <i>Lethenteron camtschaticum</i> и разными видами лососевых (Salmonidae) в циклах развития, механизмах формирования жизненных стратегий и пр. Такие аналогии являются результатом эпигенетических изменений основных экологических параметров и возникают под воздействием сходных факторов окружающей среды [Савваитова и др., 2007].
<ul style="list-style-type: none"> • подвергать сомнению самоочевидные и общепризнанные явления (на каждом этапе развития техники эксперимента полезно проверить, казалось бы, достоверные явления); 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Астрономия</i> (повторюсь): классический пример – гео- и гелиоцентрические системы мира. • <i>Экология</i>: <ul style="list-style-type: none"> ○ Старая история: за 600 лет до н. э. Анаксимандр из Милета высказал мысль о возникновении жизни из морского ила и о последующей её эволюции – его можно считать родоначальником идеи самозарождения жизни (эти представления поддерживали И. Ньютон, В. Гарвей и др.). В XVI в. Ф. Реди нанес удар по теории самозарождения жизни, сформулировав и доказав принцип <i>Omne vivum e vivo</i> – все живое из живого. ○ Казалось бы, очевидные, но очень различные объяснения резких циклических изменений числен-

	ности популяций через 1) изменения климатических факторов, 2) случайные флуктуации популяций, 3) взаимодействия популяций, 4) экосистемные взаимодействия трофических уровней [Одум, 1975, с. 249-252].
<ul style="list-style-type: none"> • исключение не универсального явления (допустим, явление А хорошо объединяет ряд фактов, но не объясняет какого-то одного факта; тогда есть смысл попытаться отказаться от явления А или заменить его частными явлениями); 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Лингвистика</i>: Специфика структуры языка определяется особенностями в использовании языковых универсалий и наличием «не универсальных» явлений, которые могут быть заменены синонимами [Гак, 1998, с. 454]. • <i>Экология</i>: примером может служить понятие «биогеоценоз»: все биогеоценозы – экосистемы, но есть экосистемы, которые не являются биогеоценозами (например, кабина пилотируемого космического корабля).
<ul style="list-style-type: none"> • отыскание среди явлений взаимопротиворечивых (такая противоречивость далеко не всегда очевидна). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Астрономия</i> (еще раз повторюсь): гео- и гелиоцентрические системы мира. • <i>Экология</i>: конкурентные и протокооперативные взаимодействия популяций двух видов («если конкурентные отношения есть следствие борьбы за общий ресурс, то отношения конгруэнтные представляют собой своеобразную эстафету ресурсов, когда продукт одного из конгруэнтных партнеров является ресурсом для другого» [Михайловский, 1988, с. 47]).
Открытие закономерностей	
<ul style="list-style-type: none"> • закономерность устанавливается впервые (в этом случае простейший прием состоит в следующем: надо увеличивать количество известных фактов до тех пор, пока закономерность не проявится сама собой); 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Астрономия</i>: установление Кеплером законов движения планет. • <i>Экология</i>: <ul style="list-style-type: none"> ○ закон биогенной миграции атомов В.И. Вернадского; ○ описание колебательных процессов в системе «хищник – жертва» (А. Лотка и В. Вольтерра).

<ul style="list-style-type: none"> • задача состоит в том, чтобы преодолеть трудности (объяснить противоречия, исключения), на которые натолкнулась предыдущая теория (в этом случае характерный прием заключается в том, что вводятся гипотетические явления, снимающие затруднения). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Химия</i>: для создания периодической системы химических элементов Д.И. Менделеев ввел некоторые гипотетические элементы (это позволило провести принцип периодичности на протяжении всего ряда элементов). • <i>Экология</i>: противоречия <i>принципа конкурентного исключения</i> Г.Ф. Гаузе «снимаются» путем введения представлений о «гильдиях» – группах видов, сходным образом использующих один и тот же класс ресурсов среды.
---	---

Мне представляется, что приемы открытия закономерностей Г.С. Альтшуллера следует расширить за счет *выбора достаточной степени абстрагирования* реальной экосистемы, её «упрощения» за счет «отбрасывания» малозначащих (естественно, на взгляд исследователя) факторов (правда, здесь следует опасаться того, чтобы «не выплеснуть с водой ребёнка»: «экологическая теория сможет охватить существующую в природе реальность, только когда перестанет трактовать громадное разнообразие ситуаций, в которых оказываются организмы, популяции, сообщества и экосистемы, как некий "шум", мешающий выявлению наиболее существенных закономерностей, и будет рассматривать его как основной предмет своего изучения и важнейший источник информации. При всей сложности положения, в которое экология поставлена своими собственными задачами, успехи ее методологии [а это, наверное, главный результат заканчивающегося столетия] позволяют смотреть в будущее с достаточным оптимизмом» [Гиляров, 1998, с. 82]). По-видимому, это касается не только экологии, но и естествознания в целом (по крайней мере, об этом же говорит, например, американский физик П. Стейнхардт [Paul Steinhardt]: «Меня интересует модель, которая наиболее эффективно объяснит наблюдаемые факты. Соответствует ли она реальности, это пустой вопрос. Модели всегда упрощают реальность. По сути дела, нам не очень даже важна реальность сама по себе. Мы нуждаемся, прежде всего, в модели, которая описывает многообразие сложных феноменов с помощью самых простых концепций, понятных нашему разумению и позволяющих предсказывать происходящее... Итак, выбор модели зависит от того, какие задачи мы ставим перед собой. Реальность – это не всегда то, что вам хотелось бы, а вам хотелось бы понимания»; цит. по: [Волков, URL²]).

Построение *системы экологических законов* возможно с использованием моделей потенциальной эффективности сложных систем, активно разрабатываемых в 70-80-х гг. прошлого века Б.С. Флейшманом; их приложение к решению экологических задач было предметом рассмотрения в нескольких монографиях и многочисленных статьях [Fleishman, 1976, 1995; Флейшман, 1978, 1982; Беляев др., 1979; Брусиловский, Розенберг, 1979; Грин, Кибзун, 1984; Розенберг, 1984, 1999, 2000, 2003, 2005; Фролов, Розенберг, 2002 и др.]. Одна из основных целей теории потен-

² URL (Uniform Resource Locator – универсальный локатор ресурсов); так отмечаются ссылки в списке литературы, представленные адресами в Интернете без указания года издания.

циальной эффективности – это формулировка общих предельных законов, ограничивающих эффективность сложных систем любой природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Альтшуллер Г.С. Как делаются открытия (мысли о методике научной работы). 1960. [<http://www.altshuller.ru/triz/investigations1.asp>]. – **Альтшуллер Г.С.** Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. 178 с. – **Альтшуллер Г.С.** Найти идею / 2-е изд. Новосибирск: Наука, 1991. 225 с. – **Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В.** Поиск новых идей: от озарения к технологии (теория и практика решения изобретательских задач). Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. 380 с.

Бартини Р.О. ди, Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик // Моделирование динамических систем. Вып. 2. Теоретические вопросы моделирования. Труды семинара "Кибернетика электроэнергетических систем". Брянск: АН СССР, 1974. С. 18-29. [http://situation.ru/app/rs/lib/pobisk/ur_model_sys/ur_model_sys.htm]. – **Белюс В.Н., Лактионов А.П.** Новый вид *Astragalus (Fabaceae)* из Северо-Западного Прикаспия // Ботан. журн. 2009. Т. 94, № 5. С. 133-137. – **Беляев В.И., Ивахненко А.Г., Флейшман Б.С.** Кибернетика, экология и оптимальное природопользование // XXXIV Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. М.: Сов. радио, 1979. С. 13-16. – **Брусиловский П.М., Розенберг Г.С.** Вероятностные модели предотвращения катаклизмов. Препринт Ин-та биол. БФАН СССР. Уфа, 1979. 28 с.

Волков А. Как возникли законы природы? Поразительные гипотезы физиков. URL. [<http://www.ecoteco.ru/index.php?id=1034>].

Гак В.Г. Языковые преобразования. М.: Школа «Языки русской культуры», 1998. 768 с. – **Гиляров А.М.** Экология в поисках универсальной парадигмы // Природа. 1998. № 3. С. 73-82. – **Грин А.М., Кибзун А.П.** Тенденции в математическом моделировании геосистем // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1984. № 5. С. 136-145.

Зинченко Т.Д., Макаrenchенко М.А., Макаrenchенко Е.А. Новый вид рода *Cricotopus van der Wulp* (Diptera, Chironomidae) из солёной реки бассейна озера Эльтон (Волгоградская область, Россия) // Евроазиатский энтомолог. журн. 2009. Т. 8, прил. 1. С. 83-88. – **Зорина О.В., Зинченко Т.Д.** Новый вид рода *Tanytarsus van der Wulp* (Diptera, Chironomidae) из солёной реки бассейна озера Эльтон (Волгоградская область, Россия) // Евроазиатский энтомолог. журн. 2009. Т. 8, прил. 1. С. 105-110.

Кузнецов П.Г. Искусственный интеллект и разум человеческой популяции // Устойчивое развитие: наука и практика. 2008. Спец. выпуск. С. 10-48. [http://yrazvitie.ru/wp-content/uploads/2009/07/spec_vipysk.pdf].

Миркин Б.М. Еще раз об организмизме в фитоценологии // Ботан. журн. 1989а. Т. 74, № 1. С. 3-13. – **Миркин Б.М.** Надумана ли дилемма «холизм – редуционизм»? // Журн. общ. биол. 1989б. Т. 50, № 5. С. 705-708. – **Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с. – **Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.** Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1989. 223 с. – **Михайловский Г.Е.** Описание и оценка состояний планктонных сообществ. М.: Наука, 1988. 214 с.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 240 с. – **Розенберг Г.С.** Модели потенциальной эффективности сложных систем как инструмент анализа экологических феноменов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Тр. междунар. конф. Самара: СНЦ РАН, 1999. С. 333-338. – **Розенберг Г.С.** Методы аналитического моделирования колебательных процессов в экосистемах // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Ч. IV: Уч. пос. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 2000. С. 55-88. – **Розенберг Г.С.** О моделях потенци-

альной эффективности экологических систем // Изв. СамНЦ РАН. 2003. Спец. вып. "Проблемы современной экологии". Вып. 1. С. 34-43. – **Розенберг Г.С.** Модели потенциальной эффективности популяций и экологических систем // Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. биол. 2005. Вып. 1(9). С. 163-180. – **Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б.** Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. Самара: СНЦ РАН, 1999. 396 с.

Саксонов С.В. Новый вид рода *Cerastium* (*Caryophyllaceae*) с Жигулей // Ботан. журн. 1990. Т. 75, № 8. С. 1168-1169. – **Савваитова К.А., Павлов Д.С., Кузищин К.В. и др.** Экологические аналогии у тихоокеанской миноги *Lethenteron camtschaticum* и микижи *Parasalmo mykiss* Камчатки // Вопр. ихтиологии. 2007. Т. 47, № 3. С. 296-302. – **Скворцов Г.Е.** Система законов природы. СПб.: Петрополис, 2004. 116 с.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 328 с.

Флейшман Б.С. Системные методы в экологии // Статистические методы анализа почв, растительности и их связи. Уфа: ИБ БФАН СССР, 1978. С. 7-28. – **Флейшман Б.С.** Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. 368 с. – **Фролов Ю.П., Розенберг Г.С.** Управление биологическими системами. Надорганизменный уровень. Самара: Изд-во "Самарский ун-т", 2002. 192 с.

Чернов Г.Н. Законы теоретической биологии. М.: Знание, 1990. 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. биол.; вып. 1).

Яценко Н.Е. Толковый словарь обществоведческих терминов. СПб.: Лань, 1999. 528 с. (Сер. "Учебники для вузов").

Altshuller G.S. Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problem Solving. N.Y.: Gordon & Breach Sci. Publ., 1988. 319 p. – **Altshuller G.** The Innovation Algorithm. TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity. Worcester (MA): Technical Innovation CTR, Inc, 1999. 312 p.

Fleishman B.S. Philosophy of systemology // Cybernetica. 1976. V. 19, № 4. P. 261-272. – **Fleishman B.S.** Stochastic theory of complex ecological systems // Complex Ecology / Ed. by B. Patten, S. Jorgenson. Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice Hall PTP; A. Simon & Schuster, 1995. P. 166-224.

Lundberg G.A. Can Science Save Us? N.Y.; L.: Longmans, Green and Co., 1947. 150 p.

McIntosh R. The Background of Ecology. Concept and Theory. L.: Cambridge Univ. Press, 1985. 383 p.