

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет»
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

Е. А. Зилов

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Москва
Нобель Пресс
2013

УДК 504:574.5:396.6(285.2)
ББК 28.082
3-61

*Печатается по решению
Ученого совета Научно-исследовательского института биологии*

Рецензенты: чл.-корр. РАН Г. С. Розенберг
проф., д-р техн. наук С. С. Тимофеева

Зилов Е.А.

3-61 Анализ и прогноз изменений водных экосистем на основе модельных экспериментов / Е. А. Зилов. – М.: Издательство Нобель Пресс, 2013. 2-е изд. – с.

ISBN 978-5-518-94599-9

Монография посвящена разработке методологических подходов к оценке функционирования крупных водных экосистем в условиях внешней нагрузки (на примере оз. Байкал). Приведены результаты натуральных опытов с мезоэкосмами, в которых определялось действие основных аллохтонных веществ на компоненты планктонного сообщества оз. Байкал. Обнаружены значительные различия в реакции подледного и летне-осеннего комплексов планктона на внешние воздействия. Полученные результаты использованы для построения математических моделей возмущений экосистемы оз. Байкал на основе идеологии сложного модельного эксперимента. Предложено в качестве индикатора состояния экосистем использовать такую целевую функцию, как структурная эксэргия, снижающаяся при неблагоприятных изменениях экосистем.

Книга предназначена для экологов, лимнологов, гидробиологов, специалистов в области окружающей среды, докторантов, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Библиогр. 530 назв. Ил. 51. Табл. 42.

УДК 504:574.5:396.6(285.2)
ББК 28.082

ISBN 978-5-518-94599-9

© Зилов Е. А., 2013
© Издательство Нобель Пресс, 2013

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
Раздел I	13
МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЭКОЛОГИИ	13
Глава 1. Роль и место модельного эксперимента в экологическом прогнозировании	13
Глава 2. Модели экосистем	34
Глава 3. Модельные экосистемы	49
Раздел II	84
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ	84
Глава 4. Экосистема как сложная термодинамическая система....	84
Глава 5. Существующие подходы к термодинамическому описанию экосистем	89
Глава 6. Экосистема как гиперцикл	103
Глава 7. Анализ динамики и устойчивости гиперциклических моделей экосистем разной сложности	106
Раздел III	116
СЛОЖНЫЙ МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ	116
Глава 8. Методология сложного модельного эксперимента	116
Глава 9. Получение экспериментальных данных по взаимодействию компонентов планктона оз. Байкал в разные сезоны с основными загрязнителями	125

Глава 10. Модель возмущений экосистемы оз. Байкал и результаты экспериментов с ней	180
Раздел IV	197
Термодинамические целевые функции в экологии	197
Глава 11. Приложение термодинамических целевых функций к анализу экосистем	197
Глава 12. Понятие эксэргии.....	202
Глава 13. Поведение эксэргии в математических моделях	207
Глава 14. Поведение эксэргии в реальных экосистемах	215
Глава 15. Перспективы использования понятия эксэргии в экологии	257
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	271
ЛИТЕРАТУРА.....	275

Предисловие ко второму изданию

Подвигнуло меня на переиздание моей книги исключительно любезное письмо заместителя главного редактора «Нобель-пресс» Алёны Александровны Левендеевой в котором сообщалось, что на мою книгу есть спрос.

Поначалу у меня была мысль сделать второе издание «переработанным и дополненным», но по размышлении я от неё отказался. Новые результаты применительно к эксэргии заинтересованный читатель может найти в:

Мокрый А.В. Динамика эксэргии в районе города Байкальска / А.В. Мокрый, Е.А. Зилов, Ф.-Л. Шу // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). – 2010. – № 4. – С. 328 – 333.

Silow E.A. Exergy as a Tool for Ecosystem Health Assessment / E.A. Silow, A.V. Mokry // Entropy. – 2010. – V. 12, № 4. – P. 902-925. doi:10.3390/e12040902.

Зилов Е.А. Долговременная динамика эко-эксэргии в Женевском озере / Е.А. Зилов, О. Анневиль, Б. Монтюэль // Вестник ИрГСХА. – 2012. – Вып. 48, февраль. – С. 39 – 44.

Silow E.A. Exergy changes in lakes around the world under pressure from global change / E.A. Silow // Archives des Sciences. – 2012. – V. 65. – P. 209 – 214.

Mokry A. The study of exergy and structural exergy dynamics in lake

Baikal plankton (1951 - 1999) / A. Mokry, E. Silow // *13th World Lake Conference Papers*. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. -

http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/12.pdf

Panasenkova E. The study of structural exergy in Ust-Ilimsk reservoir ecosystem / E. Panasenkova, S. Timofeeva, E. Silow // *13th World Lake Papers*. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. -

http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/26.pdf

Silow E.A. Eco-Exergy use for ecosystem health assessment / E.A. Silow, A.V. Mokry, S.E. Juurgensen // *International Journey of Exergy*. – Paris: Paris Owest University, 2011. – 22 p. Available from

http://leme.u-paris10.fr/exergy/files/17_06_11/SilowA.pdf

Silow E.A. Case studies of Eco-Exergy use for ecosystem health assessment / E.A. Silow, O. Anneville, B. Montuelle, A.V. Mokry, F.-L. Xu // *International Journey of Exergy*. – Paris: Paris Owest University, 2011. – 18 p. Available from

http://leme.u-paris10.fr/exergy/files/17_06_11/SilowB.pdf

Silow E.A. Some Applications of Thermodynamics for Ecological Systems / E.A. Silow, A.V. Mokry, S.E. Jørgensen // J.C. Moreno-Pirajan (Ed.). *Thermodynamics - Interaction Studies - Solids, Liquids and Gases*. – Vienna: InTech, 2011. – P. 319-342. ISBN: 978-953-307-563-1. Available from

<http://www.intechopen.com/articles/show/title/some-applications-of-thermodynamics-for-ecological-systems>

А то, что связано с антропогенным загрязнением озера Байкал и его современным состоянием опубликовано в

Зилов Е.А. Современное состояние химического загрязнения озера Байкал: Источники и агенты / Е.А. Зилов, П.А. Орлов // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 45, сентябрь. – С. 32 – 37.

Izmest'eva L.R. Long-Term Dynamics of Lake Baikal Pelagic Phytoplankton under Climate Change / L. R. Izmest'eva, E. A. Silow, and E. Litchman // Inland Water Biology. – 2011. – Vol. 4, No. 3. – P. 301–307. © Pleiades Publishing, Ltd., 2011. ISSN 1995_082.

Izmestyeva L. Long-term dynamics of summer community of Baikal phytoplankton and climate change / L. Izmestyeva, E. Silow // 13th World Lake Papers. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. - http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/9.pdf

Mokry A. Long-term dynamics of diatom alga of lake Baikal phytoplankton / A. Mokry, G. Kobanova, E. Silow // 13th World Lake Conference Papers. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. - http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/11.pdf

Pislegina E. Long-term dynamics of Baikal zooplankton and climate change / E. Pislegina, E. Silow // 13th World Lake Conference Papers. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. - http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/10.pdf

Shimaraeva S. Long-term dynamics of under-ice community of Baikal phytoplankton and climate change / S. Shimaraeva, L. Izmestyeva, E. Silow // 13th World Lake Conference Papers. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. - http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/13.pdf

Silow E. Lake Baikal as possible sentinel of the Climate Change / E. Silow // 13th World Lake Papers. – Shiga: ILEC, 2010. – 4 p. - http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/S2/s2-6.pdf

Домышева В.М. История гидрохимических исследований на Байкале / В.М. Домышева, Т.В. Ходжер, Е.А. Зилов // Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, 2012. – Кн. 1. – С. 46-56.

Зилов Е.А. Сообщества планктона / Е.А. Зилов // Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, 2012. – Кн. 2. – С. 729–757.

Зилов Е.А. Кругооборот вещества и потоки энергии в экосистеме пелагиали / Е.А. Зилов // Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, 2012. – Кн. 2. – С. 771-777.

Зилов Е.А. Физическое воздействие на озеро / Е.А. Зилов // Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, 2012. – Кн. 2. – С. 982-983.

Зилов Е.А. Химическое загрязнение озера / Е.А. Зилов, Т.В. Ходжер // Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, 2012. – Кн. 2. – С. 983-995.

Зилов Е.А. Необходимые меры по сохранению экосистемы Байкала / Е.А. Зилов // Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, 2012. – Кн. 2. – С.1004-1011.

Зилов Е.А. Очерки химии окружающей среды: учеб. пособие / Е.А.Зилов. – Иркутск: Вост.-Сиб. акад. образования, 2011. – 176 с.

Предисловие

Современная академическая экология, как и 35 лет назад (Margalef, 1973), зачастую оказывается бессильной при решении практических задач прогнозирования, необходимых для управления ресурсопользованием (Kumagai et al., 1999, Кондратьев, 1999). Как писал Р. Петерс, «экология может давать полезные, количественные, общие прогнозы, если ее теории будут: *эмпирическими*, так как лишь эмпиризм позволяет реалистично оценивать неопределенность, связанную с неучтенными факторами; *холистическими и упрощенными*, поскольку сложные или механистические теории показали себя практически непригодными; *практическими*, более связанными с насущными вопросами о природе, нежели с академической схоластикой» (Peters, 1991, p. 304).

Уже сейчас используется около 100 000 химических соединений. Если учесть, что для предсказания поведения в окружающей среде каждого из этих соединений мы должны знать, по крайней мере, 25 характеристик и для прогноза его воздействия на биоту нужно изучить его взаимодействие пусть не с 5 000 000 видов, населяющих планету, а лишь с 25 000 «ключевых» видов, то мы получим количество необходимых исследований $\approx 7,25 \cdot 10^{10}$, что, естественно, совершенно нереально (Jørgensen, 1998). Поэтому очевидно, что широко используемое сейчас биотестирование вряд ли способно решить проблемы экотоксикологической прогностики. Кроме того, нельзя не согласиться с Р. Маргалевом в том, что «к сожалению для биотестирования,

эволюция не остановилась и тест-объекты подвержены изменениям при культивировании» (1992, с. 32). Представляется, что математическое моделирование и эксперименты с модельными экосистемами на сегодня едва ли не единственно возможные подходы к предсказанию последствий антропогенных воздействий на экосистемы (Beyers, Odum, 1993, Jørgensen, 1997, 2008).

Автор поставил перед собой цель разработать методологические подходы к оценке функционирования водных экосистем в условиях антропогенной нагрузки (на примере оз. Байкал). Для достижения указанной цели следовало решить следующие задачи:

- проанализировать существующие методы предсказания антропогенных изменений водных экосистем и выбрать наиболее продуктивные из них;
- получить данные о взаимодействии планктонного сообщества оз. Байкал с биогенными элементами и главными загрязнителями озера;
- обеспечить построение математической модели на основе этих экспериментальных данных;
- провести вычислительные эксперименты прогнозного характера с математическими моделями;
- исследовать пригодность различных интегральных показателей для оценки состояния экосистем и анализа их антропогенных изменений по литературным источникам, для математических моделей, результатов натурных экспериментов и полевых наблюдений.