

УДК 574.5
ББК 28.082

А.В. Мокрый
Е.А. Зилов
Шу Фу-Лью

ДИНАМИКА ЭКСЭРГИИ В РАЙОНЕ г. БАЙКАЛЬСКА*

Рассмотрено применение структурной эксэргии в водной экологии, приведены методы расчета эксэргии и структурной эксэргии. Ранее показанная на математических моделях и экспериментальных экосистемах возможность использования структурной эксэргии для оценки состояния водных экосистем подтверждена результатами расчета структурной эксэргии бентоса и планктона озера Байкал для фонового и загрязненного районов.

Ключевые слова: оценка состояния экосистем, эксэргия, структурная эксэргия, термодинамические целевые функции, озеро Байкал.

A.V. Mokryi
E.A. Zilov
Xu Fu-Liu

DYNAMICS OF EXERGY IN BAIKALSK SURROUNDINGS

The article describes the use of structural exergy in aquatic ecology, and methods of calculating exergy and structural exergy. The results of structural exergy calculation for natural benthos and plankton in pristine and disturbed areas of Lake Baikal prove the prospects of using structural exergy, which were previously demonstrated with mathematical modeling and in experimental ecosystems, for estimating the state of aquatic ecosystems.

Keywords: estimation of the state of aquatic ecosystems, exergy, structural exergy, thermodynamic goal functions, Lake Baikal.

Эксэргия — максимальная работа, которую совершает термодинамическая система при переходе из данного состояния в состояние физического равновесия с окружающей ее средой [4; 6]. Эксэргия имеет хорошее теоретическое обоснование в термодинамике, связь с теорией информации и высокую степень корреляции с другими целевыми функциями при относительной простоте ее расчета [8].

* Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)» проект No. 2.1.1/1359; ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009–2013 гг.) по государственному контракту No. 02.740.11.0018.

© Е.А. Зилов, А.В. Мокрый,
Шу Фу-Лью, 2010

Впервые использованная в экологическом моделировании в конце 70-х г. [12], ныне эксэргия используется для расчета параметров моделей экосистем и создания моделей, способных предсказывать изменения видового состава экосистем [1; 2; 9; 10].

Эксэргия определяется как расстояние между текущим состоянием системы и ее состоянием в термодинамическом равновесии с окружающей средой. Таким образом, эксэргия — мера отклонения экосистемы от равновесного состояния. Она указывает на количество работы, затраченной на создание данной системы из первичных компонентов (в случае экосистемы — из первичного неорганического «бульона»), и информации, использованной при этом. Эксэргия, отнесенная к общей биомассе (структурная эксэргия), отражает способность экосистемы усваивать поток энергии извне, служа, одновременно, индикатором степени развития экосистемы, ее сложности и уровня эволюционного развития организмов, из которых она состоит [2]. Для выявления динамики состояния экосистем служит структурная эксэргия. Структурная эксэргия — это эксэргия, отнесенная к общей биомассе. Она отражает способность экосистемы усваивать поток энергии извне, служа одновременно индикатором степени развития экосистемы, ее сложности и уровня эволюционного развития организмов, из которых та состоит [2].

Авторам показалось интересным оценить пригодность приложения структурной эксэргии к реальным природным экосистемам и рассчитать данный показатель для района Байкала, подверженного антропогенному стрессу.

Эксэргия и структурная эксэргия рассчитываются по формулам [1; 7]:

$$Ex / RT = \sum_{i=1}^n c_i f_i; \quad (1)$$

$$Ex_{Str} = \left(\sum_{i=1}^n c_i f_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n c_i \right)^{-1}, \quad (2)$$

где Ex — эксэргия, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$; Ex_{str} — структурная эксэргия; R — газовая константа, $8,31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; T — абсолютная температура, К ; c_i — концентрация в экосистеме компонента i , $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$; f_i — пересчетный коэффициент. Коэффициент f_i является качественным фактором, отражающим эксэргийную составляющую различных таксонов. Соответствующие коэффициенты уже рассчитаны для многих систематических групп организмов и опубликованы [6; 7].

Для данной работы расчет структурной эксэргии для района воздействия сточных вод Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (г. Байкальск) выполнялся на основе данных средне-

годовых биомасс зоо- и фитопланктона Байкальского института экологической токсикологии [5]. К сожалению, в ряду наблюдений пробел с 1991 по 1997 гг.

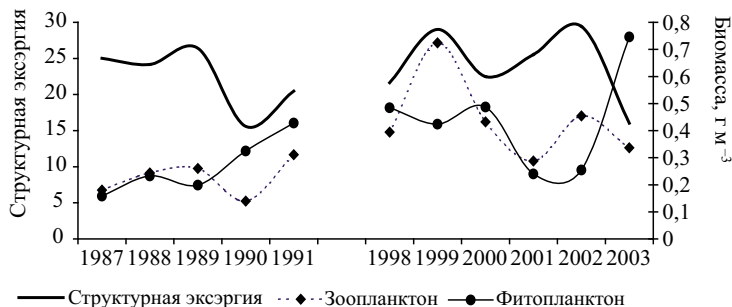


Рис. 1. Многолетняя динамика структурной эксэргии, биомасс фито- и зоопланктона в слое 0–50 м в районе г. Байкальска, 1987–1991 и 1998–2003 гг.

Среднегодовые значения структурной эксэргии в районе г. Байкальска за период 1987–1991 и 1998–2003 гг. изменялись в пределах от 15,6 (1990 г.) до 29,4 (2002 г.) (рис. 1). Таким образом, среднегодовые значения структурной эксэргии и размах ее варьирования в районе г. Байкальска выше таковых для фонового района Южного Байкала [2] (гидробиологической пелагической станции «Точка № 1»).

Сравнивая среднегодовые значения структурной эксэргии для района г. Байкальска и для фонового района за аналогичные периоды (1998–2002) отбора проб, имеем существенные отличия как по абсолютным, так и по среднемноголетним значениям (рис. 2).

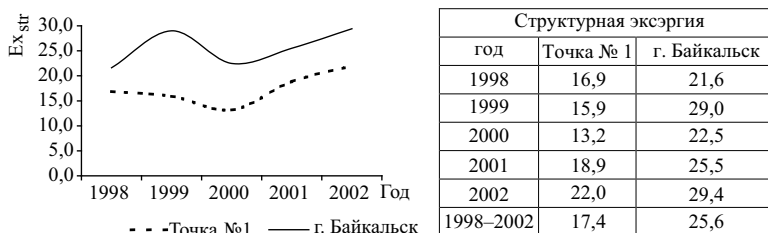


Рис. 2. Многолетняя динамика структурной эксэргии в слое 0–50 м, пелагиаль Южного Байкала, 1998–2002 гг.

Основываясь на значениях структурной эксэргии в районе г. Байкальска можно сделать вывод о том, что планктонное сообщество пелагиали в районе воздействия сточных вод Байкальского

целлюлозно-бумажного комбината функционирует на уровне, отличном от невозмущенного состояния.

Авторами также был проведен расчет эксэргии и структурной эксэргии для бентосных сообществ озера Байкал в районе сброса очищенных сточных вод Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (находящихся в заведомо неблагоприятных экологических условиях) и фонового района по опубликованным данным Научно-исследовательского института биологии [3; 11]. Как видно из результатов расчетов, приведенных на рис. 3, для всех глубин и грунтов структурная эксэргия ниже в районе сброса сточных вод, что говорит о существенных нарушениях структуры и функционирования донных сообществ, и полностью соответствует выводам, полученным ранее с использованием других критериев.

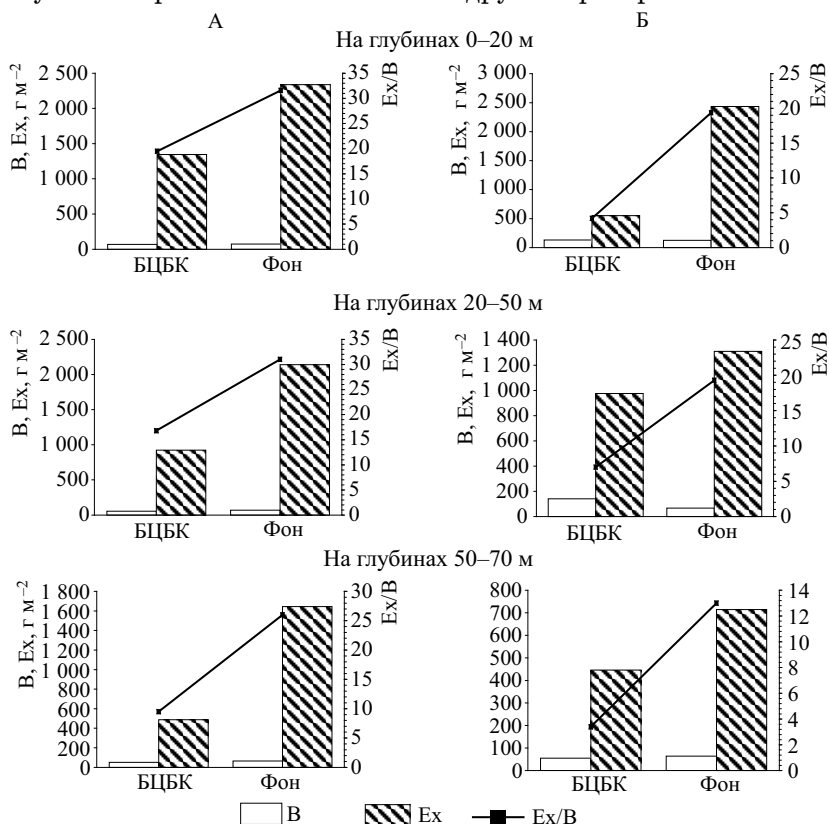


Рис. 3. Показатели состояния сообщества бентоса в районе сброса очищенных сточных вод БЦБК и в фоновом районе для разных глубин. А — заиленный песок, Б — ил.

Таким образом, такой показатель как эксэргия уже сейчас можно рекомендовать в качестве индекса состояния экологической системы и степени его антропогенного изменения. Естественно, он не лишен недостатков, но в то же время имеет такие важные преимущества как простота расчета и работоспособность.

Список использованной литературы

1. Зилов Е.А. Возможность использования целевых функций для оценки «здоровья» водных экологических систем: эксэргия / Е.А. Зилов // Сибирский экологический журнал. — 2006. — № 3. — С. 269–284.
2. Зилов Е.А., Мокрый А.В. Оценка состояния водных экосистем (на примере озера Байкал) с помощью термодинамической целевой функции — эксэргии / Е.А. Зилов, А.В. Мокрый // Известия Иркутского государственного университета. Сер. «Биология. Экология». — 2008. — Т. 1, № 1. — С. 79–84.
3. Кожова О.М. Сообщества макрозообентоса Южного Байкала в районе антропогенного воздействия / О.М. Кожова, Л.С. Кравцова, И.В. Верховурова // Проблемы сохранения биоразнообразия. — Новосибирск, 1998. — С. 64–66.
4. Реймерс Н.Ф. Природопользование: слов.-справ. / Н.Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.
5. Святенко Г.С. Тенденции изменения состояния байкальского фитопланктона в районе антропогенного воздействия: дис. ... канд. биол. наук / Г.С. Святенко. — Иркутск, 2005. — 130 с.
6. Jorgensen S.E. Calculations of exergy for organisms / S.E. Jprgensen, N. Ladegaard, M. Debeljak, J.C. Marques // Ecol. Modell. — 2005. — Vol. 185. — P. 165–175.
7. Jorgensen S.E. Fundamentals of Ecological Modelling / S.E. Jorgensen, G. Bendricchio. — 3d ed. — Amsterdam: Elsevier, 2001. — 530 p.
8. Jorgensen S.E. Integration of Ecosystem Theories: a Pattern / S.E. Jorgensen. — 2nd ed. — Doedrecht; Boston; L.: Kluwer Academic Publishers, 1997b. — 400 p.
9. Jorgensen S.E. Models of the structural dynamics in lakes and reservoirs / S.E. Jorgensen, S.N. Nielsen // Ecol. Modell. — 1994. — Vol. 74. — P. 39–46.
10. Jorgensen S.E. Parameters, ecological constraints and exergy / S.E. Jorgensen // Ecological Modelling. — 1992. — Vol. 62. — P. 163–170.
11. Kozhova O.M. Economic use and anthropogenic pressure / O.M. Kozhova, B.K. Pavlov, E.A. Silow // Lake Baikal: Biodiversity and Evolution. — Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 1998. — P. 279–292.
12. Mejer H.F. State of the Art in Ecological Modelling / H.F. Mejer, S.E. Joergensen. — Copenhagen: ISEM, 1979. — P. 829–846.

Bibliography (transliterated)

1. Zilov E.A. Vozmozhnost' ispol'zovaniya tselevykh funktsii dlya otsenki «zdorov'ya» vodnykh ekologicheskikh sistem: ekssergiya / E.A. Zilov // Sibirskii ekologicheskii zhurnal. — 2006. — № 3. — S. 269–284.

2. Zilov E.A., Mokryi A.V. Otsenka sostoyaniya vodnykh ekosistem (na primere ozera Baikal) s pomoshch'yu termodinamicheskoi tselevoi funktsii — eksergii / E.A. Zilov, A.V. Mokryi // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Biologiya. Ekologiya». — 2008. — T. 1, № 1. — S. 79–84.
3. Kozhova O.M. Soobshchestva makrozoobentosa Yuzhnogo Baikala v raione antropogennogo vozdeistviya / O.M. Kozhova, L.S. Kravtsova, I.V. Verkhoturva // Problemy sokhraneniya bioraznoobraziya. — Novosibirsk, 1998. — S. 64–66.
4. Reimers N.F. Prirodopol'zovanie: slov.-sprav. / N.F. Reimers. — M.: Mysl', 1990. — 637 s.
5. Svyatenko G.S. Tendentsii izmeneniya sostoyaniya baikal'skogo fitoplanktona v raione antropogennogo vozdeistviya: dis. ... kand. biol. nauk / G.S. Svyatenko. — Irkutsk, 2005. — 130 s.
6. Jorgensen S.E. Calculations of exergy for organisms / S.E. Jprgensen, N. Ladegaard, M. Debeljak, J.C. Marques // Ecol. Modell. — 2005. — Vol. 185. — P. 165–175.
7. Jorgensen S.E. Fundamentals of Ecological Modelling / S.E. Jorgensen, G. Bendoricchio. — 3d ed. — Amsterdam: Elsevier, 2001. — 530 p.
8. Jorgensen S.E. Integration of Ecosystem Theories: a Pattern / S.E. Jorgensen. — 2nd ed. — Doedrecht ; Boston ; L. : Kluwer Academic Publishers, 1997b. — 400 p.
9. Jorgensen S.E. Models of the structural dynamics in lakes and reservoirs / S.E. Jorgensen, S.N. Nielsen // Ecol. Modell. — 1994. — Vol. 74. — P. 39–46.
10. Jorgensen S.E. Parameters, ecological constraints and exergy / S.E. Jorgensen // Ecological Modelling. — 1992. — Vol. 62. — P. 163–170.
11. Kozhova O.M. Economic use and anthropogenic pressure / O.M. Kozhova, B.K. Pavlov, E.A. Silow // Lake Baikal: Biodiversity and Evolution. — Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 1998. — P. 279–292.
12. Mejer H.F. State of the Art in Ecological Modelling / H.F. Mejer, S.E. Joergensen — Copenhagen, ISEM, 1979. — P. 829–846.

Информация об авторах

Мокрый Андрей Викторович — младший научный сотрудник НИИ биологии при Иркутском государственном университете, г. Иркутск, e-mail: mokry@list.ru.

Зилов Евгений Анатольевич — доктор биологических наук, профессор НИИ биологии при Иркутском государственном университете, г. Иркутск.

Шу Фу-Лью — профессор Пекинского Университета, Китай, г. Пекин.

Authors

Mokryi Andrey Victorovich — Junior Research Scientist, Scientific Research Institute of Biology, Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: mokry@list.ru.

Zilov Evgueniy Anatoliyevich — Doctor of Biology, Professor, Scientific Research Institute of Biology, Irkutsk State University, Irkutsk.

Xu Fu-Liu — Professor, Beijing University, China, Beijing.