



УДК 574.5

Современная лимноэкология – смена парадигм?

Е. А. Зилов

Научно-исследовательский институт биологии при Иркутском государственном университете, Иркутск
E-mail: eugenesilow@hotmail.com

Аннотация. Рассматривается так называемая смена парадигм лимноэкологии – от взгляда на озерные экосистемы как индивидуальные и статические системы к рассмотрению их как связанных в единую систему гидрологическим циклом и характеризуемых общими трендами, вызванными глобальными изменениями. Приведен обзор современных изменений, отмечающихся в озерных экосистемах и связываемых с глобальными изменениями климата. Показано, что наряду с действительным существованием ряда общих тенденций в динамике различных лимнических экосистем, очень многие процессы протекают совсем не так, как предсказывает «новая парадигма».

Ключевые слова: глобальные изменения климата, экосистемы озер, парадигмы, лимноэкология.

Введение

Парадигмой называют совокупность взглядов, гипотез, теорий, методов и исследовательских средств, принятых научным сообществом на данном отрезке времени [11]. Смена парадигмы составляет смысл научной революции. В самое последнее время появляются работы [3; 14], в которых утверждается, что в лимноэкологии такая революция происходит или уже произошла. В данной работе автор попытался ответить на вопрос – так ли это?

Лимноэкология

У читателя вполне естественно должен возникнуть вопрос: что, собственно говоря, такое «лимноэкология»? Сам этот термин нов, хотя уже достаточно распространен в англо- и германоязычной литературе [9; 12] и может трактоваться как «озерная экология», «экология озер», но не сводиться к ним. Наверное, наиболее точным значением этого термина является «экология пресных поверхностных вод суши». Нельзя не согласиться с тем, что термин «лимноэкология» – гораздо компактнее.

Старая и новая парадигмы

Упомянутые выше авторы, в частности Д. Ливингстон [14], утверждают, что господствовавшая донные парадигма лимноэкологии рассматривала озерные экосистемы, опираясь на два молчаливых, но общепринятых допущения. Во-первых, хотя во всех озерах происходят примерно одни и те же процессы, но, благодаря различиям в географическом положении, морфометрии и т. п., все озера индивиду-

альны. Во-вторых, несмотря на то, что все показатели состояния озер подвержены сильным колебаниям, на более или менее длительном отрезке времени значения величин лежат в каких-то постоянных пределах. Новая парадигма основывается на пространственной согласованности процессов, протекающих во всех озерах, благодаря их связанности единым всемирным гидрологическим циклом, и на признании существования некоего однонаправленного тренда показателей, обусловленного глобальными изменениями условий среды (изменения климата и загрязнение) [3; 14].

Постулируемые изменения климата и его возможные последствия для экосистем озер

Средняя глобальная температура поднялась на 0,74 °C за последние 100 лет. Согласно современной, но все же не общепринятой точке зрения, рост средней глобальной приземной температуры воздуха в будущем составит от 0,1 до 0,3 °C в десятилетие, и к 2100 г. превышение «нормального» значения температуры будет составлять 1,8–5,0 °C [24]. Рассмотрим возможные последствия климатических изменений для экосистем озер, исходя из представлений современной лимнологии о структуре и функционировании водных экосистем [6; 7; 10; 23; 29].

Хотя изменения климата сказываются на всех важных метеорологических факторах, однако ведущим процессом является, очевидно, изменение температуры воздуха. Долговременное повышение температуры воздуха, ко-

того следует ожидать в результате парникового эффекта, неизбежно должно вызывать общее повышение температуры поверхности озера и усиливать его температурную стратификацию. Тепловая или температурная стратификация основана на аномальном свойстве воды – наличии максимума плотности при 4 °С. Благодаря этому вода с температурой как выше, так и ниже этой, занимает вышележащие слои водного тела, а вода с температурой максимальной плотности – нижние. Верхний слой воды озера в период стратификации именуется *эпилимнионом*, нижний – *гиполимнионом*. Разделяющий их слой температурного скачка или *термоклин* – *металимнионом*. За повышением температуры поверхностного слоя воды должно последовать повышение температуры воды всего эпилимниона, а затем и гиполимниона. Можно с уверенностью предсказать, что рост температуры воды эпилимниона усилит температурный и плотностной градиенты в металимнионе (термоклине) и, следовательно, температурная стратификация водного тела будет более устойчивой. Равномерное увеличение температуры воды для всех глубин приведет к большему уменьшению плотности в эпилимнионе, чем в гиполимнионе, и, соответственно, к росту градиента плотности в металимнионе.

Если климатические изменения имеют место, то они должны отразиться и на гидрохимическом режиме озер, так как эти изменения могут сказываться на физико-химических процессах как в водосборном бассейне, так и в самом водном теле. Так, следует ожидать снижения концентрации кислорода и роста концентрации биогенных элементов, в частности, фосфатного фосфора и нитратного азота в гиполимнионе, которые должны последовать за ужесточением температурной стратификации. Кроме того, прогрев воды гиполимниона может увеличить бактериальное разложение и последующие дефицит кислорода и снижение концентрации растворенных органических веществ в воде. С другой стороны, укорочение подледного периода должно снижать вероятность установления аноксии в эвтрофных водоемах подо льдом.

Понятно, что столь серьезные изменения гидрологического режима и гидрохимической обстановки в водоеме должны сказаться и на биоте. Следует ожидать усиления развития фитопланктона, возможно, изменения его состава, интенсификации микробных процессов, изменений в видовом составе зоопланктона и населения рыб.

Наблюдаемые изменения озерных экосистем

Следует отметить, что в очень многих озерах действительно наблюдаются указанные гидрофизические и гидрохимические явления: повышение температуры воды, увеличение объема эпилимниона, удлинение сроков прямой стратификации, сокращение времени ледового сезона, снижение концентрации кислорода (вплоть до аноксии) в гиполимнионе, рост концентрации фосфора в гиполимнионе. Среди биологических процессов можно отметить и участвовавшие случаи массового развития цианобактерий и других водорослей, существенное увеличение первичной продукции в течение XX в., увеличение доли мелких водорослей в фитопланктоне. Ссылок здесь автор не приводит, так как даже их перечисление без библиографического описания заняло бы весь объем статьи.

Однако отмечаются и процессы прямо противоположной направленности. Так, в озере Тахо наблюдается не рост, а уменьшение объема эпилимниона, связанное с уменьшением глубины термоклина [1]. В глубоких озерах происходит снижение концентраций силикатов и фосфатов в период, предшествующий цветению фитопланктона [5; 22]. Снижение концентрации доступного фосфора и, соответственно, продукции и биомассы фитопланктона обнаружено и в альпийских озерах [21], и в шведских [30]. В Австралии рост температуры отрицательно сказывается на концентрациях и фосфора (общего и фосфатного), и азота (общего и нитратного) и не вызывает роста концентрации хлорофилла – индикатора развития фитопланктона в озерах [25]. В озере Танганьика прогрев эпилимниона и соответствующее упрочение температурной стратификации препятствует поступлению биогенных элементов из гиполимниона и, следовательно, сдерживает развитие водорослей [20; 28]. Наблюдается и исчезновение аноксии в эвтрофных озерах подо льдом, которое приводит к соответствующим сдвигам видового состава как зоопланктона [8; 18], так и рыб [27].

Кроме того, не только однонаправленный рост температуры, но и циклические явления, такие как Северо-Атлантическая и Арктическая осцилляции, существенно влияют на количество осадков, температуру, продолжительность ледостава, время вскрытия ото льда и весеннего развития фитопланктона озер в Европе и Азии [2; 4; 13; 26]. В Северной Америке время вскрытия ото льда и концентрация общего фосфора во многом определяется Эль-Ниньо –

Южной осцилляцией [10; 19], Тихоокеанской осцилляцией [15; 17] и их взаимодействием [16].

Заключение

Приведенный обзор достаточно наглядно показывает, что отклики озерных экосистем на последствия изменений климата далеко не однонаправленны. Одни и те же изменения вызывают совершенно противоположные результаты. Кроме того, само существование «старой» парадигмы вызывает сомнения – все серьезные исследователи всегда видели в динамике показателей озерных экосистем результат взаимодействия нескольких составляющих: внутригодовых циклических изменений, межгодовых долговременных циклических изменений и нециклических изменений, связанных как с развитием экосистем под влиянием внутренних причин, так и вызванных внешними воздействиями. Схематическое сведение этих взглядов к некоей «парадигме» хорошо лишь в учебном пособии для облегчения усвоения материала студентами.

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

Литература

1. The warming of lake Tahoe / R. Coats [et al.] // *Climatic Change*. – 2006. – Vol. 76. – P. 121–148.
2. George G. The impact of climate change on the physical characteristics of the larger lakes in the English Lake district / G. George, M. Hurley, D. Hewitt // *Freshwater Biology*. – 2007. – Vol. 52. – P. 1647–1666.
3. Gerten D. Climatic change, aquatic science, multiple shifts in paradigms / D. Gerten // *Internat. Rev. Hydrobiol.* – 2008. – Vol. 93. – P. 397–403.
4. Gerten D. Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation / D. Gerten, R. Adrian // *Limnol. Oceanogr.* – 2000. – Vol. 45. – P. 1058–1066.
5. Goldman C. R. Interannual fluctuations in primary production: Meteorological forcing at two subalpine lakes / C. R. Goldman, A. Jassby, T. Powell // *Limnol. Oceanogr.* – 1989. – Vol. 34. – P. 310–323.
6. Hutchinson G. E. *A Treatise on Limnology* / G. E. Hutchinson. – N. Y. : John Wiley & Sons, 1957. – Vol. 1 : Geography, Physics and Chemistry. – 1015 p.
7. Hutchinson G. E. *A Treatise on Limnology* / G. E. Hutchinson. – N. Y. : John Wiley & Sons, 1967. – Vol. 2 : Introduction to Lake Biology and Limnoplankton. – 1115 p.
8. A comparison of shallow Danish and Canadian lakes and implications of climate change / L. J. Jackson [et al.] // *Freshw. Biol.* – 2007. – Vol. 52. – P. 1782–1792.
9. Kalbe L. *Limnische Oekologie* / L. Kalbe. – Stuttgart, Leipzig : B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft, 1997. – 296 s.
10. Kalff J. *Limnology: Inland Water Ecosystems* / J. Kalff. – New Jersey : Prentice Hall, 2002. – 592 p.
11. Kuhn T. S. *The structure of scientific revolutions* / T. S. Kuhn. – 2nd ed. – Chicago : University of Chicago Press, 1970. – 210 p.
12. Lampert W. *Limnoecology – The Ecology of Lakes and Streams* / W. Lampert, U. Sommer. – 2nd ed. – Oxford : Oxford University Press, 2007. – 324 p.
13. Livingstone D. M. Ice break-up on Southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to North Atlantic Oscillation / D. M. Livingstone // *Limnol. Oceanogr.* – 1999. – Vol. 44, N 6. – P. 1486–1497.
14. Livingstone D. M. A change of climate provokes a change of paradigm: taking leave of two tacit assumptions about physical lake forcing / D. M. Livingstone // *Internat. rev. Hydrobiol.* – 2008. – Vol. 93. – P. 404–414.
15. A Pacific interdecadal climate oscillation with the impact on salmon production / N. J. Mantua [et al.] // *Bull. Am. Meteorol. Assoc.* – 1997. – Vol. 78. – P. 1069–1079.
16. McGabe G. J. Decadal variations in the strength of ENSO teleconnections with precipitation in the western United States / G. J. McGabe, M. D. Dettinger // *Int. J. Climatol.* – 1999. – Vol. 19. – P. 1399–1410.
17. McGowan J. A. Climate-ocean variability and ecosystem response in the northeast Pacific / J. A. McGowan, D. R. Cayan, L. M. Dorman // *Science*. – 1998. – Vol. 281. – P. 210–217.
18. Perturbation and resilience: a long-term, whole-lake study of predator extinction and reintroduction / G. G. Mittelbach [et al.] // *Ecology*. – 1995. – Vol. 71. – P. 2241–2254.
19. Nicholls K. H. El Nino, ice cover, and Great lakes phosphorus: Implications for climate warming / K. H. Nicholls // *Limnol. Oceanogr.* – 1998. – Vol. 43. – P. 715–719.
20. Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa / C. M. O'Reily [et al.] // *Nature*. – 2003. – Vol. 424. – P. 766–768.
21. Parker B. R. Recent climate change extremes alter alpine lake ecosystems / B. R. Parker, R. D. Vinebrooke, D. W. Schindler // *PNAS*. – 2008. – Vol. 108. – P. 12927–12931.
22. Salmaso N. Effects of climatic fluctuations and vertical mixing on the interannual trophic variability of

Lake Garda, Italy / N. Salmaso // *Limnol. Oceanogr.* – 2005. – Vol. 50. – P. 553–565.

23. Schwoerbel J. Einführung in die Limnologie / J. Schwoerbel, H. Brendelberger. – 9 Auflage. – München : Elsevier, 2005. – 340 S.

24. Solomon S. IPCC, 2007: Summary for Policy-makers / S. Solomon [et al.] // *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* – Cambridge : Cambridge University Press, 2007. – P. 79–131.

25. Tibby J. Climate-water quality relationships in three Western Victorian (Australia) lakes 1984–2000 / J. Tibby, D. Tiller // *Hydrobiologia.* – 2007. – Vol. 591. – P. 219–234.

26. Todd M. C. Large-scale climatic controls on lake Baikal ice cover / M. C. Todd, A. W. Mackay // *Journal of Climate.* – 2003. – Vol. 16. – P. 3186–3199.

27. Tonn W. M. Size-limited predation, winterkill, and the organization of Umbra – Perca fish assemblages / W. M. Tonn, C. A. Paszkowski // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1986. – Vol. 43. – P. 194–202.

28. Verburg P. Ecological consequences of a century of warming in Lake Tanganyika / P. Verburg, R. E. Hecky, H. King // *Science.* – 2003. – Vol. 301. – P. 505–507.

29. Wetzel R. G. *Limnology: Lake and River Ecosystems* / R. G. Wetzel. – 3d ed. – London ; Sydney ; Tokyo : Academic Press, 2001. – 1006 p.

30. Weyhenmeyer G. A. Rates of change in physical and chemical lake variables – are they comparable between large and small lakes? / G. A. Weyhenmeyer // *Hydrobiologia.* – 2008. – Vol. 599. – P. 105–110.

Modern limnoecology – change of paradigm?

E. A. Silow

Research Institute for Biology, Irkutsk State University, Irkutsk

Abstract. Shift of paradigms in limnoecology: from the view on lake ecosystems as individual static systems to the understanding of them as some unity, joined by hydrological cycle and influenced by global change, is discussed. The review of the recent limnic ecosystem changes explained by Global change is fulfilled. The coexistence of both general tendencies in many lake ecosystems as well as many processes contrary the new paradigm.

Key words: global change, lake ecosystems, paradigms shift, limnoecology.

*Зилов Евгений Анатольевич
Научно-исследовательский институт биологии при
Иркутском государственном университете
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3
доктор биологических наук
старший научный сотрудник
тел. (395 2) 33–44–79, факс (395 2) 34–00–07
E-mail: eugenasilow@hotmail.com*

*Zilov Evgeni Anatolyevitch
Irkutsk State University
Research Institute for Biology
3 Lenin St., Irkutsk, 664003
D. Sc. in Biology
senior research scientist,
phone (3952) 33–44–79, fax: (3952) 34-00-07
E-mail: eugenasilow@hotmail.com*