

scrapers and filterers. Among all baits more attractive are the corpses of fishes, than bird and mammali. Some Calliphoridae and Sarcophagidae flies can develop on large corpses. In during decomposition is observed succession of species. In summer the baits (weight 35g) are decomposed during one month.

## АРКТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ СЕВЕРНОГО ОЗЕРА

А.А. Максимов, Н.А. Березина, С.М. Голубков, Л.П. Умнова

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: alexeymaximov@mail.ru

Арктическое колебание – наряду с более известным Северо-Атлантическим колебанием, которое может рассматриваться как региональное проявление этого феномена в Атлантическом секторе (Hurrell, 2003; Thompson et al., 2003) – считается главным атмосферным процессом, определяющим межгодовую изменчивость погодных и климатических условий в северном полушарии, особенно в полярных и бореальных районах. Индекс Арктического колебания рассчитывается на основе данных по атмосферному давлению над уровнем моря севернее 20° с.ш. Влияние Арктического колебания на погодные условия наиболее сильно выражено в зимнее время. При положительных значениях индекса преобладают сильные западные ветры, несущие теплый и влажный воздух на север Европейского континента. Наоборот, в периоды отрицательных значений наблюдается похолодание и уменьшение количества осадков. Чередование положительных и отрицательных фаз Арктического (Северо-Атлантического) колебания оказывает существенное влияние на водные и наземные экосистемы региона (Смирнов, Смирнов, 1998; Ottersen et al., 2001; Stenseth et al., 2002, 2003 и др.).

В данной работе мы исследовали роль Арктического колебания в формировании межгодовой изменчивости озерных экосистем Северо-запада России на примере озера Кривое (площадь 50 га, максимальная глубина 32 м, средняя – 12 м), расположенного в Северной Карелии (около 66° 21' с.ш. и 33° 38' в.д.) в непосредственной близости от биостанции Зоологического института РАН.

### Материалы и методы

Материалом для работы послужили данные гидробиологических съемок выполненных в период с 2002 по 2007 г. Проанализированы изменения в пелагических (концентрация хлорофилла «а» в эпилимнионе) и донных (биомасса животных макрозообентоса в прибрежной и открытой частях водоема) сообществах озера. Поскольку состав и динамика макрозообентоса открытых районов озера на большей части акватории имели сходный характер, для анализа межгодовой изменчивости использовали данные по одной станции, расположенной на глубине 8 м. При изучении более переменных прибрежных сообществ были усреднены данные по пяти станциям (глубины 0,5–1 м). В соответствии с задачами данного исследования использовались средние за год величины, основанные на 3–5 съемках, выполненных преимущественно в период с мая по октябрь.

Концентрация хлорофилла «а» определялась в ацетоновом экстракте спектрофотометрическим методом, рекомендованным ЮНЕСКО (Report., 1964). В прибрежье пробы макрозообентоса отбирали при помощи цилиндрического пробоотборника (рамки) площадью сечения 1/32 м<sup>2</sup> или дночерпателем Мордухая-Болтовского (1/200 м<sup>2</sup>), в открытой части озера – дночерпателем Ван-Вина (1/40 м<sup>2</sup>). На станциях брали от 3 до 6 проб. Пробы отмывали через капроновое сито с размером ячеек 250 мкм и фиксировали 4% формалином. Камеральную обработку и анализ материала проводили общепринятыми методами. Значения индекса Арктического колебания получены на сайте Отдела анализа климата Национального центра Атмосферных Исследований (США) (Hurrell, 1995, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>).

### Результаты

В составе макрозообентоса оз. Кривое за период исследования обнаружено свыше 150 видов, наибольшее видовое разнообразие отмечено среди насекомых и олигохет. Особенно богаты видами прибрежные донные сообщества. На глубинах до 5 м по биомассе доминировали амфиподы

*Gammarus lacustris*, составляя 18–44%, личинки ручейников (14–35%) и олигохеты (12–14%). В отдельные годы существенное значение в общей биомассе имели также двустворчатые моллюски *Sphaerium suecicum* (23–28%) и личинки хирономид (17%). Различия в биомассе бентоса и разных групп между станциями, так и между разными периодами наблюдений были существенны. Биомассы варьировали от 1,8 до 18,2 г/м<sup>2</sup> в разные периоды 2003–2007 годов.

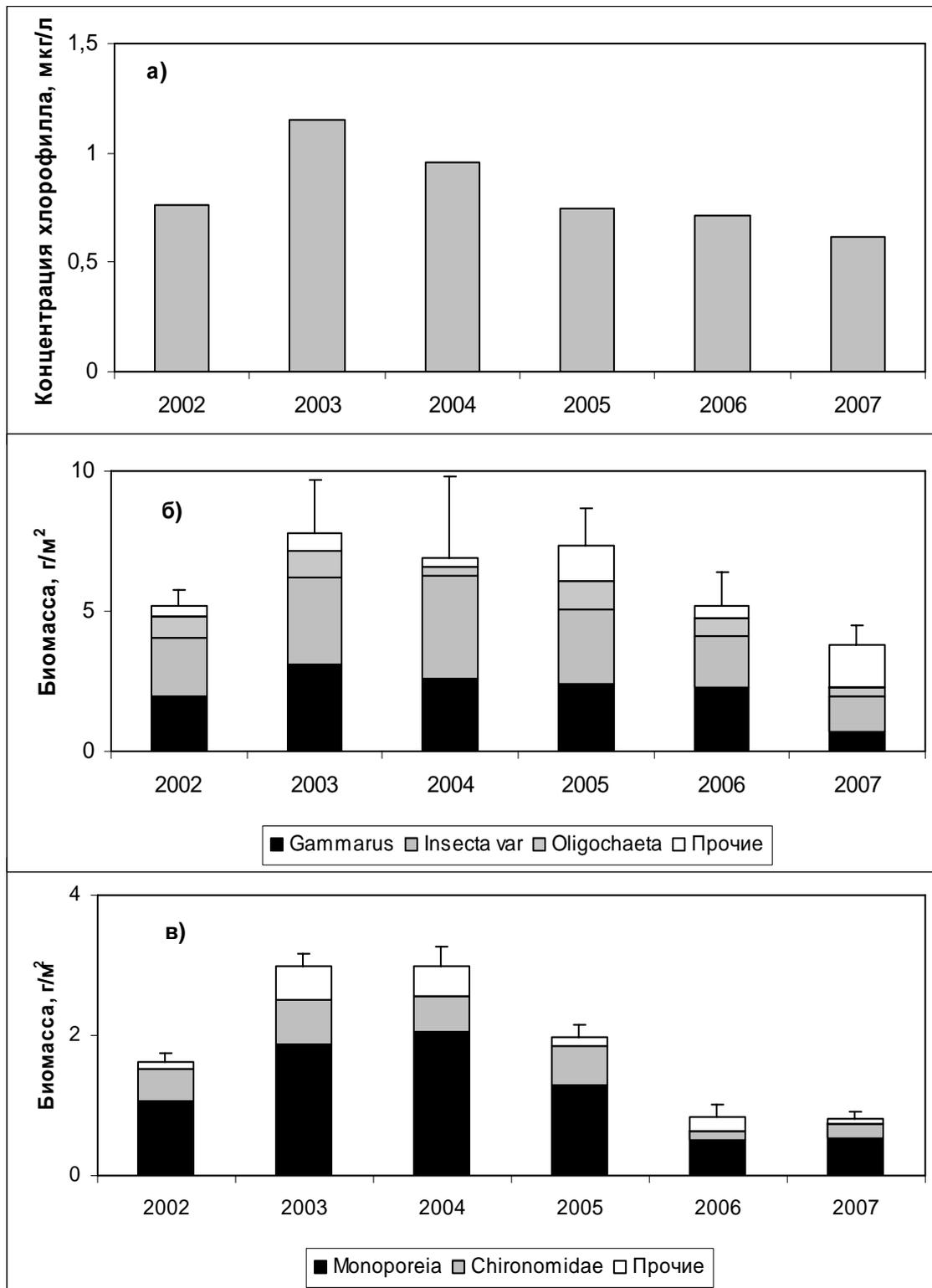


Рис. 1. Межгодовые изменения в планктоне и бентосе оз. Кривое в 2002–2007 гг. (а) Концентрация хлорофилла «а», мкг/л, биомасса (г/м<sup>2</sup>) и состав макрозообентоса соответственно в прибрежье (б) и открытой части (в) озера. Вертикальные линии – стандартная ошибка общей биомассы макрозообентоса

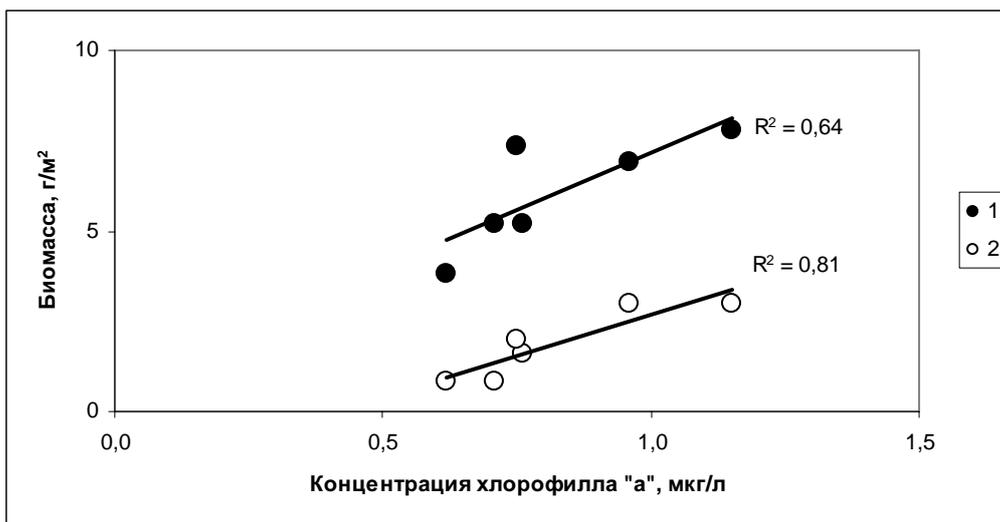


Рис. 2. Зависимость средней за год биомассы макрозообентоса ( $\text{г/м}^2$ ) в прибрежье (1) и открытой части (2) оз. Кривое от концентрации хлорофилла «а» ( $\text{мкг/л}$ )

Для открытых районов озера характерно преобладание в составе бентоса одного вида – гляциально-морского реликтового бокоплава *Monoporeia affinis*. Этот вид доминирует на большей части акватории озера, составляя 60–70% биомассы всего бентоса. Только на локальных участках двух глубоководных впадин с глубинами около 20 м и более *M. affinis* уступает ведущую роль в бентосе личинкам хирономид, представленных там, главным образом, *Sergentia coracina*.

В период исследований отмечены значительные межгодовые изменения всех исследованных показателей. При этом изменения характеристик пелагических, а также донных сообществ в разных участках озера были достаточно близки по амплитуде и имели однонаправленный характер (Рис. 1). Во всех случаях максимальные величины зафиксированы в 2003–2004 гг. Минимальные показатели, которые были примерно в 2–3 раза ниже, наблюдались в последний год наблюдений. Необходимо отметить также почти полную синхронность изменений биомассы доминирующих видов и групп донных животных в прибрежной зоне и открытой части озера (Рис. 1 а, в). Общая биомасса бентоса значимо коррелировала с содержанием в воде хлорофилла (Рис. 2). Отмечена положительная связь между исследованными показателями количественного развития планктона и бентоса и индексом Арктического колебания в предшествующий год (Рис. 3 и 4).

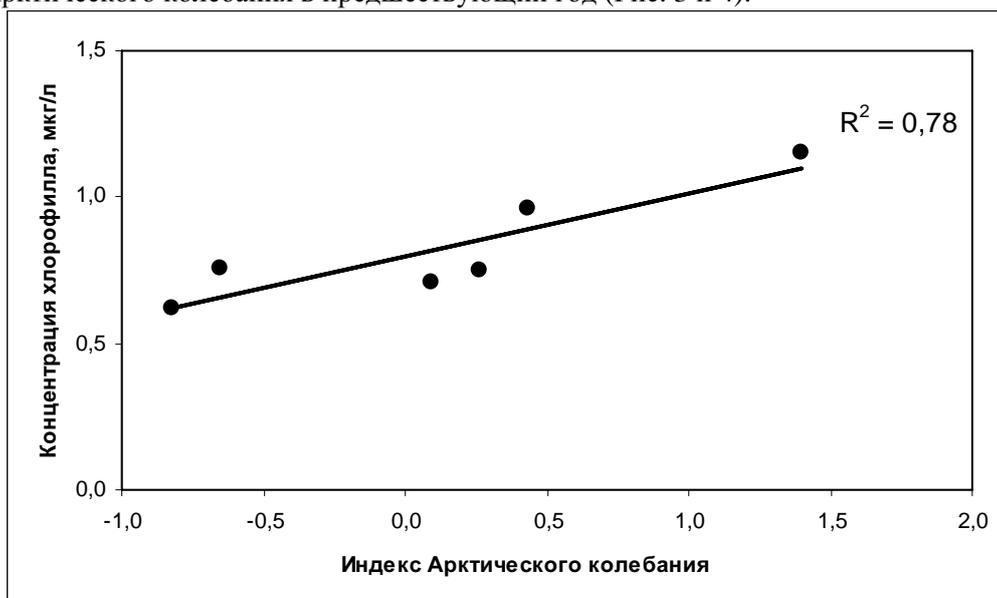


Рис. 3. Зависимость концентрации хлорофилла «а» ( $\text{мкг/л}$ ) в оз. Кривое от индекса Арктического колебания в предшествующий год

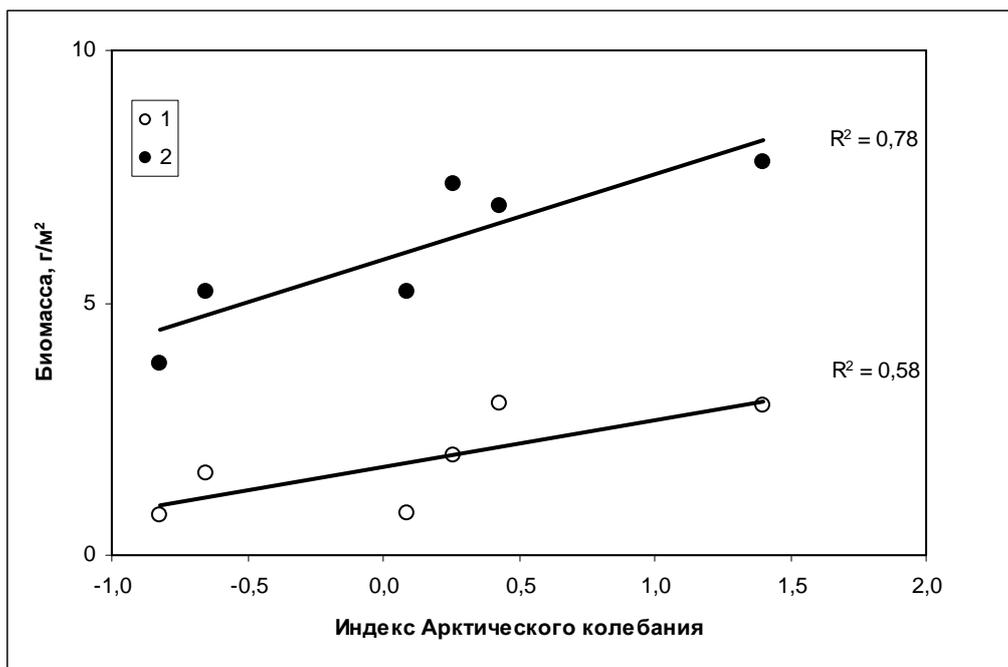


Рис. 4. Зависимость биомассы макрозообентоса ( $\text{г/м}^2$ ) в прибрежье (1) и открытой части (2) оз. Кривое от индекса Арктического колебания в предшествующий год

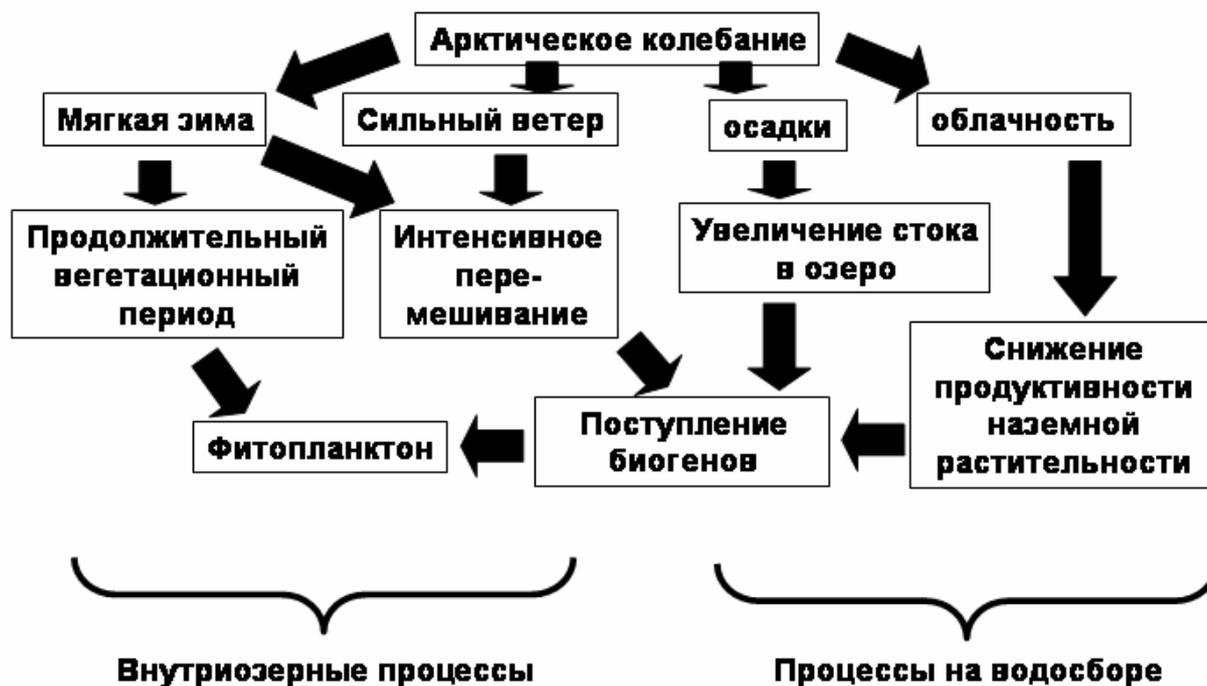


Рис. 5. Возможные механизмы увеличения уровня биологической продуктивности оз. Кривое при положительных значениях индекса Арктического колебания

### Обсуждение результатов

Полученные данные свидетельствуют о тесной взаимосвязи процессов, протекающих в пелагических и донных сообществах озера. Высокая биомасса бентоса наблюдалась в годы повышенной продуктивности планктона, что, несомненно, можно объяснить улучшением условий питания донных животных. Хотя для надежного выявления причин межгодовых изменений в экосистеме озера необходим существенно более продолжительный ряд наблюдений, положительная корреляция между показателями количественного развития озерных сообществ и индексом Арктического колеба-

ния свидетельствует о наличии связи между общим уровнем биологической продуктивности озера и крупномасштабными атмосферными процессами.

Возможные механизмы влияния климатических и погодных условий, характерных для положительных фаз Арктического колебания, на повышение трофического уровня водоема схематически представлены на рис. 5. Климатические факторы могут непосредственно влиять на развитие фитопланктона через увеличение вегетационного периода вследствие сдвига сроков замерзания и вскрытия водоема. Кроме того, более интенсивное и продолжительное перемешивание водной толщи вследствие сильных ветров и сокращения длительности ледостава при положительных индексах Арктического колебания способствует поступлению биогенных элементов в поверхностные слои воды, что должно благотворно сказываться на развитии фитопланктона. Однако перечисленные процессы, происходящие в озере, не способны объяснить отмеченную нами 1-годовую задержку реакции биологических сообществ на климатические колебания. Наиболее вероятное объяснение связано с процессами, происходящими на водосборе. Увеличение количества осадков в годы высоких индексов должно вести к увеличению стока биогенов в озеро. Имеются основания также предполагать, что для положительных фаз Арктического колебания в северных районах характерно, в целом, менее эффективное использование биогенных элементов на водосборе. По данным норвежских исследователей (Aanes et al., 2002) высокие величины индекса Арктического колебания в летнее время сопровождаются холодной, облачной и дождливой погодой, способствующей снижению продуктивности наземной растительности в полярных районах. Это вполне может привести к увеличению поступления биогенов в водоемы с водосбора. Так в водоемах Великобритании содержание нитратов коррелирует с индексом Северо-Атлантического колебания, что связывают с межгодовыми различиями в утилизации азота бактериями и растениями на водосборе в отличающиеся по температурным условиям зимы (Monteith et al., 2000; George et al., 2004).

Таким образом, в годы положительных аномалий индекса Арктического колебания в летне-осенний период вследствие увеличения количества осадков и вероятного снижения потребления биогенных элементов наземной растительностью биогенный сток в оз. Кривое, по-видимому, увеличивается, обеспечивая благоприятные возможности для развития фитопланктона в следующем году. Повышение продуктивности планктона соответственным образом отражается и на других компонентах озерной экосистемы, в частности зообентосе. Наряду с обогащением озера биогенными элементами увеличение атмосферных осадков и стока в годы положительных индексов Арктического колебания должно сопровождаться более значительным притоком аллохтонных органических веществ, стимулируя развитие сообществ животных, особенно в прибрежной зоне.

По всей видимости, с указанными процессами связаны не только краткосрочные межгодовые, но и более длительные многолетние изменения в экосистеме озера. По данным предыдущих исследований (Биологическая продуктивность..., 1975), в 1968–1969 гг. для оз. Кривое был характерен заметно более низкий уровень трофности: средние за сезон концентрации хлорофилла были примерно в 2–3 раза ниже современных (Павельева, Умнова, 2006). Исследования 1960-х гг. пришлись на период очень низких значений индекса. Именно в 1969 г. была зафиксирована минимальная величина индекса (-2,64) за 100-летний период наблюдений.

### **Выводы**

1) В период исследований (2002–2007 гг.) в оз. Кривое отмечены практически синхронные межгодовые колебания показателей количественного развития пелагических и донных сообществ. В годы повышенной продуктивности планктона наблюдалась и высокая биомасса макрозообентоса.

2) Изменения в планктоне и бентосе озера с лаг-периодом в один год положительно коррелировали с климатическим индексом Арктического колебания, характеризующим крупномасштабные атмосферные процессы в Северном полушарии.

3) Наиболее вероятный механизм влияния климатических колебаний на экосистему озера связан с увеличением поступления биогенных элементов с водосбора в годы положительных аномалий индекса Арктического колебания.

*Авторы благодарят В.А. Петухова, Л.Ф. Литвинчук, С.Н. Панину, А.А. Пржиборо и И. А. Стогова за помощь в сборе материала. Работа выполнена на базе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант НШ-5577.2006.4), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-00101-а) и программы ОБН РАН «Биоресурсы России».*

## Литература

- Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Кривое и Круглое. 1975./ Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Наука. С. 1–228.
- Павельева Е.Б., Умнова Л.П., 2006. Баланс органических веществ в оз. Кривом (Северная Карелия) // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М., Товарищество научных изданий КМК. С. 30–35.
- Смирнов А.Н., Смирнов Н.П., 1998. Колебания климата и биота Северной Атлантики. СПб.: Изд. РГТМУ. 150 с.
- Aanes R., Sæther B.-E., Smith F.M., Cooper E. J., Wookey P.A. and Øritsland N. A., 2002. The Arctic Oscillation predicts effects of climate change in two trophic levels in a high-arctic ecosystem // Ecology Letters. V. 5. P. 445–453.
- George D.G., Maberly S.C., Hewitt D.P., 2004. The influence of the North Atlantic Oscillation on the physical, chemical and biological characteristics of four lakes in the English Lake District // Freshwater Biology. V. 49. P. 760–774.
- Hurrell J.W., 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation // Science. V. 269, P. 676–679.
- Hurrell J.W., 2003. Climate Variability: North Atlantic and Arctic Oscillation // Encyclopedia of Atmospheric Sciences. Academic Press. P. 439–445.
- Monteith D.T., Evans C. D., Reynolds B., 2000. Are temporal variations in the nitrate content of UK upland freshwaters linked to the North Atlantic Oscillation? // Hydrol. Process. V. 14. P. 1745–1749.
- Ottersen, G., Planque B., Belgrano A., Post E., Reid P.C., Stenseth N.C., 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation // Oecologia. V. 128. P. 1–14.
- Report of SCOR – UNESCO working group 17 on determination of photosynthetic pigments, 1964. Paris: UNESCO. 12 p.
- Stenseth N. C., Mysterud A., Ottersen G., Hurrell J. W., Chan K.-S., Lima M., 2002. Ecological effects of climate fluctuations // Science. V. 297. P. 1292–1296.
- Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Mysterud A., Lima M., Chan K.S., Yoccoz N.G., Adlandsvik B. 2003. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond // Proc. R. Soc. London B. V. 270. P. 2087–2090.
- Thompson, D.W., Lee, J.S., Baldwin, M., 2003. Atmospheric processes governing the Northern Hemisphere Annular Mode/North Atlantic Oscillation // The North Atlantic Oscillation, Climatic Significance and Environmental Impact. AGU Geophysical Monograph. V. 134. P. 81–112.

## ARCTIC OSCILLATION AND CHANGES IN THE NORTH LAKE ECOSYSTEM

**A.A. Maximov, N.A. Berezina, S.M. Golubkov, L.P. Umnova**  
Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia  
e-mail: alexemaximov@mail.ru

The role of the Arctic Oscillation in the development of interannual changes of lake ecosystems in the Northwestern Russia was studied based on hydrobiological data (concentration of chlorophyll «a» and biomass of macrozoobenthos) for 2002–2007 from the Lake Krivoe (area 0,5 km<sup>2</sup>, maximal depth 32 m, mean depth – 12 m) in the North Karelia (about 66° 21' N and 33° 38' E). The pelagic and bottom communities showed practically synchronic variations. The high macrozoobenthos biomass was observed in the years of higher plankton productivity. Changes in plankton and benthos positively correlated with the Arctic Oscillation index with 1-year lag. The most probable mechanism of the link between climate oscillations and changes in the lake ecosystem connected with increase of nutrients inflow from watershed in the years of the positive Arctic Oscillation.

## ЕВРОПЕЙСКАЯ ЖЕМЧУЖНИЦА (*MARGARITIFERA MARGARITIFERA* (L.)) И РЫБЫ – ХОЗЯЕВА ЕЕ ЛИЧИНОК В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ВОДОРАЗДЕЛУ БАССЕЙНОВ БАЛТИКИ И ВОЛГИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**А.А. Махров**  
Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия  
e-mail: makhrov12@mail.ru

### Введение

Европейская жемчужница распространена в реках европейского и американского побережий северной Атлантики, на Британских островах, в Швеции и Финляндии, Германии, включая верховья Дуная (об-