



УДК 574.34+282.256.341

Анализ многолетней динамики основных звеньев трофической сети в пелагиали озера Байкал

В. К. Евстафьев¹, Н. А. Бондаренко², Н. Г. Мельник²

¹ Научно-исследовательский институт прикладной физики при Иркутском госуниверситете, Иркутск

² Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

E-mail: evs@api.isu.ru

Аннотация. В статье представлен анализ многолетней динамики фитопланктона и зоопланктона оз. Байкал в сопоставлении с уловами омуля. Сделан вывод об их сопряженной ритмике. Показано, что уловы омуля на локальных отрезках времени максимальны на следующий год после высокопродуктивного по фитопланктону. Кроме того, обнаружены 60–65-летние циклы продуктивности омуля, аналогичные циклам океанских рыб.

Ключевые слова: Байкал, фитопланктон, зоопланктон, омуль, многолетняя динамика, циклы.

Введение

Вопрос о связи между биомассами трофических звеньев различных уровней в водоемах имеет как теоретическое, так и практическое значение, особенно касательно промысловых рыб, основной из которых в озере Байкал является омуль. Соотношение между рыбопродуктивностью и первичной продукцией обсуждалось многими исследователями [7–13; 19; 28–29; 33; 35–37, 41–44]. Были получены оценки рыбных потенциалов в пресноводных прудах и озерах от 0,2 до 30 % от первичной продукции. Один из новых подходов в этом направлении, реализованный на примере Великих американских озер [44], базируется на изучении размерных и количественных соотношений фитопланктона, зоопланктона и рыб. Однако он пригоден для водоемов с небольшими межгодовыми вариациями биопроодуктивности, но неприемлем для Байкала с его уникальным явлением «мелозирных годов», когда биомасса водорослей весной увеличивается в десятки и сотни раз по сравнению с «немелозирными годами». Существенные колебания наблюдаются и в объемах уловов омуля. На рис. 1 видно, что кривая уловов на фоне локальных колебаний периодически «проваливается» через примерно 60–65 лет. Знать время наступления таких «провалов» весьма важно как с точки зрения планирования хозяйственной деятельности на озере, так и для прояснения позиций сторон в шумных дискуссиях относительно экологического здоровья озера, каковая, например, на-

блюдалась в 1960–70-х гг., когда падение уловов омуля было излишне поспешно увязано исключительно с негативными последствиями строительства Иркутской ГЭС.

В данной работе мы решили пойти по пути отыскания эмпирических закономерностей в многолетней динамике основных звеньев трофической сети в пелагиали оз. Байкал, позволяющих предсказывать обилие омулевого стада на ближайшую перспективу.

Материалы и методы

При анализе многолетней динамики обилия фитопланктона, зоопланктона и уловов омуля в оз. Байкал использованы опубликованные данные других авторов [1–4; 15–16; 23–26; 29–32; 35], а также результаты собственных наблюдений [5]. Методики обработки проб фитопланктона и зоопланктона описаны в цитированных работах. Отсутствие надежных данных по характеристикам фито- и зоопланктона за последние годы объясняется тем, что после 1997 г. Лимнологический институт СО РАН практически прекратил регулярный мониторинг Байкала, эпизодические же съемки не создают объективной картины [18]. С данными по уловам омуля ситуация еще хуже из-за неучтенного вылова, объемы которого начали расти с 60-х гг. XX в. и в настоящее время не поддаются сколько-нибудь точной оценке. Поэтому при проведении анализа мы ограничились вышеупомянутыми литературными данными.

В рамках стандартных процедур статистической обработки экспериментальных результатов использованы приемы сглаживания, раз-

деления коротко- и длиннопериодных колебаний, корреляционного анализа в средах пакетов Statistica, Excel, Graph4Win.

Результаты и обсуждение

Фитопланктон. Основными первичными продуцентами озера Байкал являются два комплекса планктонных водорослей, разделенные во времени: весенний крупноклеточный (размеры клеток 20 мкм и более), компоненты которого интенсивно развиваются в апреле-мае, а их максимальная суточная продукция достигает $2 \text{ гС}_{\text{орг}} \cdot \text{м}^{-2}$ и более; и летний мелкоклеточный, пикопланктон (~1,5 мкм и мельче), водоросли из которого достигают сезонного максимума в августе с суточной продукцией до $1 \text{ гС}_{\text{орг}} \cdot \text{м}^{-2}$. Соответственно, они дают начало двум ветвям трофических связей, переплетающихся на уровне верхних звеньев. Принципиальное различие этих двух комплексов заключается в составе видов, размерах клеток водорослей, характере сезонной и межгодовой динамики. Если продуктивность летнего комплекса, представленного пикопланктонными формами зеленых водорослей и цианобактерий, из года в год примерно сопоставима, отличаясь в разы [5–6; 40], то весенний демонстрирует ярко выраженные всплески урожайности на два порядка и выше, исторически получившие название «мелозирных лет» (по доминирующему представителю в нем видов рода *Melosira*, в настоящее время отнесенных к роду *Aulacoseira*). В 1940–50-х гг., когда это явление было обнаружено и описано [1–2; 23–24], интервал меж-

ду такими всплесками в южной, наиболее изученной, котловине озера составлял 3–4 года: 1946, 1950, 1953, 1957, 1960–61, 1964–65, 1968 гг. Однако после 1968 г. на 22-летнем отрезке между 1968 и 1990 гг. интервалы пиков численности доминирующей байкальской водоросли *A. baicalensis* удвоились и стали равны 6 и 8 годам: 1974, 1982, 1990 гг., после чего снова вернулись к ритму в 3–4 года: 1990, 1994, 1997, 2000 гг.

Загадка «мелозирных лет», долгие десятилетия волновавшая умы лимнологов, явление действительно уникальное, наблюдающееся практически исключительно в оз. Байкал. Было предложено много объяснений этого явления [14; 22; 24; 34; 38], но ни одно из них не выдержало проверки временем. Наиболее близки к разгадке секрета «мелозирных лет» оказались авторы работы [17], предложившие концепцию резонанса автоколебаний весеннего комплекса байкальских водорослей с ритмами солнечной активности. В рамках этой модели хорошо объясняется, почему интервалы между всплесками составляют то 3, то 4 года, почему иногда (при рекордно высокой солнечной активности, 190 в числах Вольфа в 19-м солнечном цикле) наблюдаются сдвоенные высокопродуктивные 1960–61 и 1964–65 гг. Напротив, при низкой активности (число 106 в максимуме 20-го солнечного цикла) произошел переход на более экономный удвоенный шаг в 6 и 8 лет. Описанная картина хорошо отражается в динамике *A. baicalensis* (рис. 1).

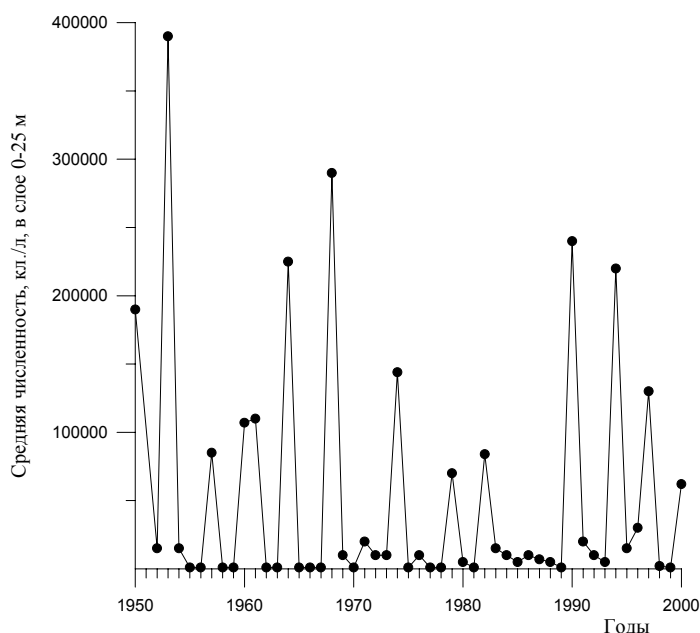


Рис. 1. Межгодовая динамика численности *A. baicalensis* в весеннем планктоне в южной котловине оз. Байкал за 1950–2000 гг. (по: [17] с добавлением данных 2000 г.)

Зоопланктон. Зоопланктон – второе звено в трофической цепи – непосредственно потребляющий первичную продукцию, должен отражать в своей сезонной и межгодовой динамике динамику фитопланктона. Причем различные составляющие зоопланктонного сообщества в принципе могут быть «привязаны» к весеннему, либо летнему урожаю фитопланктона. Проведенный нами анализ усредненной сезонной динамики за 1946–66 гг. показал, что одни виды (*Notholca grandis*, *N. intermedia*, *Synchaeta pochypoda*) демонстрируют ярко выраженный весенний максимум и обильны в высокопродуктивные годы – 1946, 1950, 1953, 1957, 1960–61, 1964. Другие (*Filinia terminalis*, *Keratella quadrata*, *Kellicottia longispina* и *Bosmina longirostris*) имеют осенний сезонный пик численности и в высокопродуктивные годы депрессивны. Третьи (*Daphnia longispina*) индифферентны в высокопродуктивные годы, обнаруживая небольшую тенденцию к цикличности в 7–8 лет. Нами был проведен более подробный анализ динамики численности двух наиболее массовых представителей зоопланктонного сообщества (использовались данные для южной котловины Байкала): эпишуры байкальской *Epischura baicalensis* (рис. 2) и циклопа *Cyclops kolensis* (рис. 3), так как именно они определяют состояние кормовых ресурсов для вышестоящих звеньев трофической сети. Главное различие в их многолетней динамике состоит в том, что максимумы развития эпишуры приходятся на межмелозирные годы и наблюдаются через

1–2 года после «мелозирного», в то время как циклы циклопа, присутствующего в планктоне Байкала круглый год, синхронны с циклами весеннего фитопланктона, однако сезонный максимум численности показывают в августе. Исходя из этого можно сделать вывод, что они вовлекаются в трофические цепи, базирующиеся как на весеннем, так и летнем фитопланктоне, а поскольку основной вклад в годовую продукцию в высокопродуктивные годы вносит весенний комплекс водорослей, то соответственно этими весенними «вспышками» порождается и всплеск численности циклопов и других вышеуказанных видов. Эпишура же избегает массовых скоплений фитопланктона. Вычитание сглаженной кривой дает динамику ее короткопериодных колебаний численности (рис. 4), из которой выявляются два главных периода в $3^{2/3}$ и $7^{1/3}$ лет (табл. 1). Исходя из того что эпишура массово развивается в противофазе «мелозирным годам», удобнее анализировать не максимумы, а минимумы ее обилия (табл. 1). Уже беглый взгляд показывает, что большая их часть совпадает с урожайными по фитопланктону годами и, соответственно, имеет такие же циклы $3^{2/3}$ лет, чего и следовало ожидать, поскольку фитопланктон как первичное продуцирующее звено определяет динамику всей трофической цепи. Годы, не совпадающие с высокопродуктивными, – 1948, 1955, 1971, 1977, 1984 – укладываются в удвоенный цикл $7^{1/3}$ лет, который может быть собственным автоколебательным циклом эпишуры.

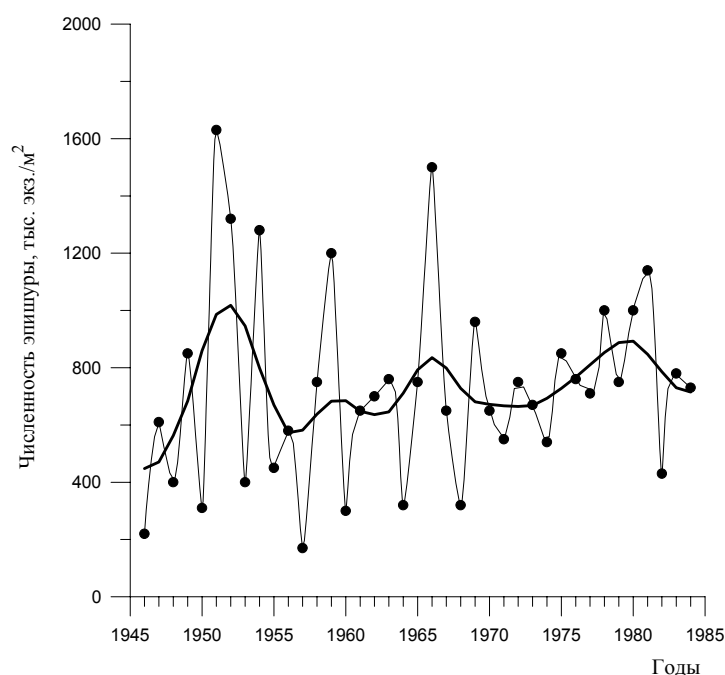


Рис. 2. Многолетняя динамика численности *E. baicalensis* в южной котловине оз. Байкал в слое 0–250 м. Жирная кривая трехкратно сглажена по трем соседним точкам

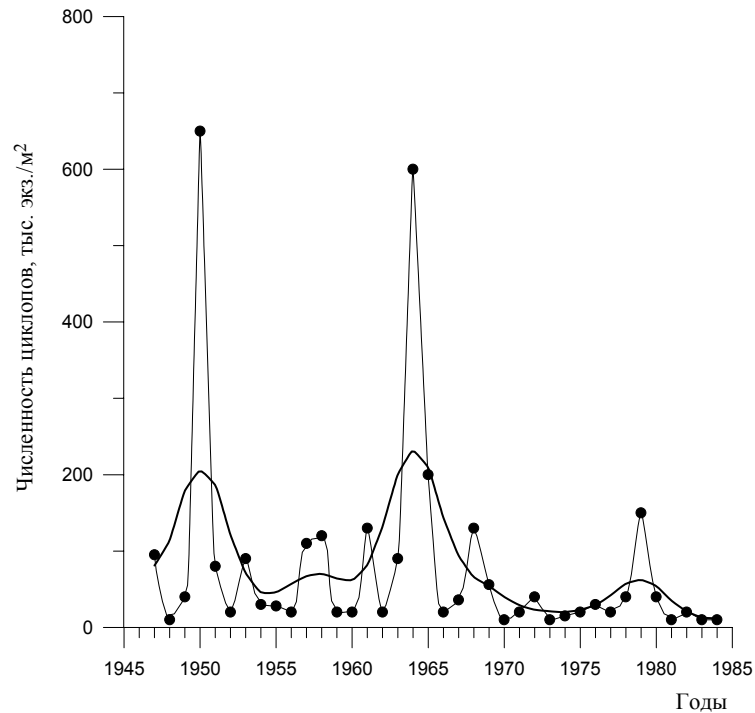


Рис. 3. Многолетняя динамика численности *C. kolensis* в южной котловине оз. Байкал в слое 0–250 м

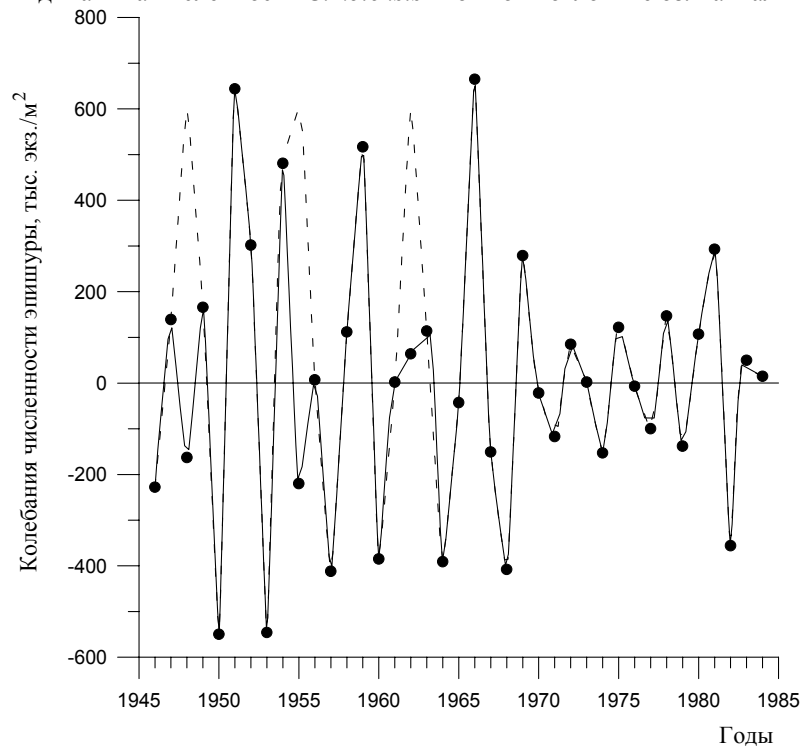


Рис. 4. Короткопериодные колебания численности *E. baicalensis* в южной котловине оз. Байкал в слое 0–250 м

Обращает на себя внимание, что картина до и после 1969 г. качественно отличается. В 70-х гг. амплитуда колебаний существенно уменьшилась: если до 1969 г. она была в среднем 500 тыс. экз. м² ($\sigma_{n-1} = 102$), то после – 179 тыс. экз. м² ($\sigma_{n-1} = 94$). Скорее всего, это связано с тем, что после 1968 г. удвоились интервалы между

вспышками доминирующей байкальской водоросли *A. baicalensis*, соответственно увеличилась роль пикопланктона как первичного продуцента и демпфера весеннего фитопланктона [5]. Это закономерно привело к уменьшению межгодовых амплитуд биомассы и, как следствие, к снижению численности зоопланктона.

Таблица 1

Связь численности циклопов и эпишуры с обилием фитопланктона
в многолетней динамике

Максимумы численности циклопов	Урожайные годы фитопланктона	Минимумы численности эпишуры	7 ¹ / ₃ -летние циклы депрессии эпишуры
1946	1946	1946	–
–	–	1948	1947 ² / ₃
1950	1950	1950	–
1953	1953	1953	–
–	–	1955	1955
1957–58	1957	1957	–
1961	1960–61	1960	–
–	–	–	1962 ¹ / ₃
1964	1964–65	1964	–
1968	1968	1968	–
–	–	–	1969 ² / ₃
1972	–	1971	–
–	1974	1974	–
1976	1976	–	–
–	–	1977	1977
1979	1979	1979	–
1982	1982–83	1982	–
–	–	1984	1984 ¹ / ₃
–	1986	1986	–
–	1990	1990	–

Таким образом, можно констатировать наличие в Байкале двух факторов, определяющих межгодовую динамику эпишуры – массовое развитие весеннего фитопланктона с циклом 3²/₃ лет, и автоколебания эпишуры в 7¹/₃ лет. В рамках модели «стоячих волн» [17] это соответствует условию

$$n \cdot \lambda = L, \quad (1)$$

где λ – длина волны циклического процесса; L – длина ее пути, n – целое число, откуда при $n = 6$ получаем $\sigma_{n-1} = 3^{2/3}$ лет и 7¹/₃ при $n = 3$, $L = 22$ года, т. е. период смены магнитных полюсов Солнца. Насколько тесно живое связано с Солнцем, демонстрирует тот факт, что со времени начала регулярных наблюдений на Байкале (1946 г.) до 1968 г. мелозира байкальская устойчиво демонстрировала вспышки численности в ритме 3 и 4 года, а после 1968 г. перешла на удвоенный цикл (вспышки наблюдались в 1974, 1982, 1990 гг.). Возможно, в эволюционном прошлом максимумы *A. baicalensis* происходили в ритме 7¹/₃ лет вследствие низкой солнечной активности, соответственно и ритмы эпишуры сформировались такими же, сохраняясь по инерции до настоящего времени, в то время как мелозира, более чувствительная к деятельности Солнца, иногда переходит на более энергичный шаг в 3²/₃ года (вдвое короче, $n = 6$ в формуле 1) вследствие повышения солнечной активности во второй половине XX в.

Кривая численности *C. kolensis* обнаруживает стойкую закономерность: максимумы приходятся на урожайные по фитопланктону годы. Лишь 1958 г., конкурируя с 1957, несколько нарушает этот стройный ход (рис. 3). Помимо этого, в ритмике циклопов можно выделить 14–15-летний цикл всплесков численности на фоне соседних максимумов – 1950, 1964 и 1979 гг., – который разумно принять равным 14²/₃ лет, как гармонику от 7¹/₃ лет.

Таким образом, на примере двух доминирующих представителей зоопланктона озера Байкал *E. baicalensis* и *C. kolensis* можно сделать заключение, что зоопланктон и фитопланктон озера составляют согласованную между собой и с солнечными ритмами систему, функционирующую с периодичностью 3²/₃, 7¹/₃ и 14²/₃ лет. Это отчетливо видно на отрезке начала 1970-х гг., когда после 1968 г. *A. baicalensis* удвоила ритм «вспышек» и вместо ожидаемого 1972 г. «мелозирным» стал 1974, а циклопы, оставшись в 1972 г. без привычного обильного корма, показали достаточно низкую численность, хотя и максимальную на указанном отрезке времени. Нарушенная в это время слаженность ритмов развития весеннего фитопланктона и циклопов привела к депрессии последних на всем протяжении 1970-х гг.

Омуть. Волны популяционной численности, порожденные вспышками развития весеннего фитопланктона и пробегающие по трофической

цепи, должны вызывать синфазные изменения в биомассе вышестоящих звеньев: зоопланктона и рыб. Учет запасов рыбного стада – задача достаточно сложная, трудно решаемая напрямую, поэтому обычно используется такая величина, как вылов, отражающая рыбное обилие водоема. На рис. 6 приведены данные по учетному вылову байкальского омуля, наиболее полные и надежные на отрезке с 1938 г. до середины 1960-х гг. (рис. 5). Локальные максимумы кривой на этом отрезке наблюдаются в 1943, 1947, 1951, 1954, 1958, 1962 гг. Нетрудно убедиться, что они следуют непосредственно за «мелозирными годами»: 1946, 1950, 1953, 1957, 1960–61 (рис. 2). Отсюда следует, что волна роста численности популяций достигает уровня омуля в трофической сети за полтора года: обилие фитопланктона приводит к увеличению биомассы зоопланктона, что в свою очередь улучшает кормовую базу омуля и обеспечивает бóльший привес нагульного стада. Зная ритмы развития весеннего фитопланктона, на этой основе можно построить прогностическую модель величины омулевого стада. Хотя официальные данные по уловам омуля с 1970-х гг. не совпадают с реальными из-за неучтенного вылова, найденная закономерность

подтверждается и на отрезке 1990-х гг. (табл. 2). Хорошо видно, что максимальными были уловы в 1991 и 1995 гг. сразу после «мелозирных» 1990 и 1994 гг.

Таблица 2

Уловы омуля в оз. Байкал в 1990-е гг. XX в.
(по данным [15])

Год	«Мелозирные годы»	Уловы омуля, т
1990	+	1 831
1991	–	2 462
1992	–	1 816
1993	–	1 838
1994	+	2 215
1995	–	2 241
1996	–	2 227

Поэтому на ближайшее время можно прогнозировать локальные максимумы улова на 2011–2012 гг. вслед ожидаемым высокопродуктивным по весеннему фитопланктону 2010–2011 гг. На рис. 6 видно, что после 2000 г. начинается новый пик 60-летних колебаний, исходя из чего текущее и следующее десятилетия обещают быть богатыми на омуль (хотя хищнический вылов омуля может погасить эту естественную динамику), после чего начнется очередная депрессия.

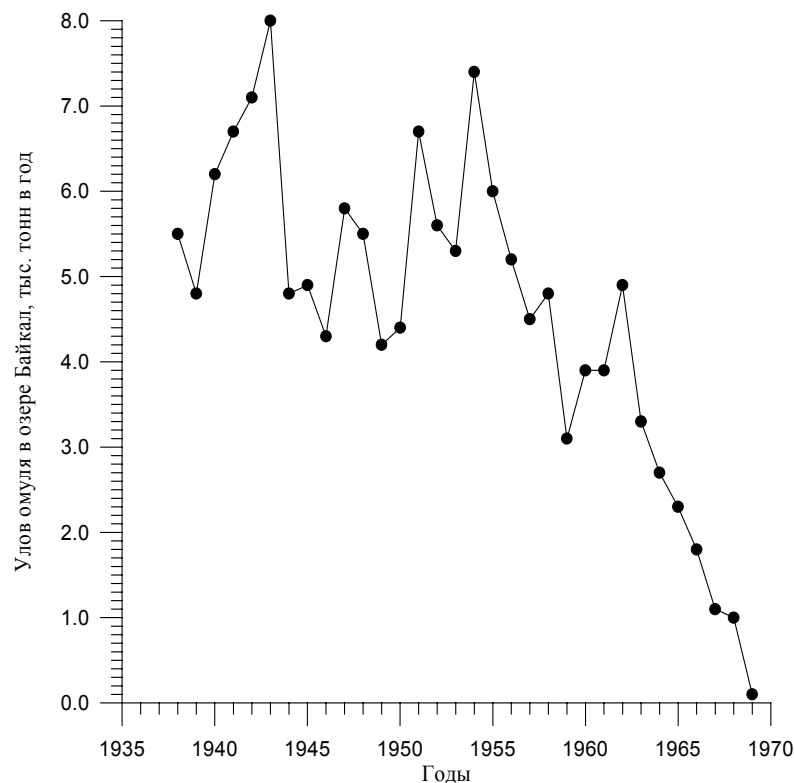


Рис. 5. Динамика уловов омуля в оз. Байкал за 1938–1969 гг.

Такие же 60-летние колебания, которые авторы связывают с 60-летними циклами хода глобальной температурной кривой [20–21], известны и для океанских рыб. В Байкале температура поверхностного слоя воды измерялась с конца XIX в. [39]. На этом вековом интервале процедура сглаживания выделяет околодвадцатипятилетние циклы, но выборка недостаточно длинна, чтобы надежно судить о наличии 60–65-летних циклов. Было найдено, однако, что температура поверхностного слоя воды, биомассы фитопланктона и зоопланктона в южном Байкале коррелируют между собой [28], что подтверждает высказанную авторами статьи мысль о том, что динамика звеньев трофической сети задается динамикой первичного звена, которая, в свою очередь, зависит от активности Солнца.

Заключение

Таким образом, работа показывает, что динамика звеньев трофической сети на примере фитопланктона, зоопланктона и омуля в оз. Байкал задается динамикой первичного звена. Динамика эта носит циклический характер. Выявлено, что циклопы, один из основных компонентов зоопланктона, развиваются в такт

с циклами развития весеннего комплекса водорослей, так называемыми «мелозирными годами» или точнее высокопродуктивными годами. Эпишура же, основной представитель зоопланктонного сообщества пелагиали озера, в эти годы депрессивна и увеличивает свою численность в межмелозирные годы. Кроме того, она испытывает собственные колебания развития с периодом в $7\frac{1}{3}$ лет, по нашему мнению, рудимент ее прошлой эволюционной эпохи. Омуль, основная промысловая рыба в Байкале, дает максимальные уловы на следующий год после высокопродуктивного по весеннему фитопланктону, основному продуценту первичной продукции. Эта найденная закономерность может быть использована на практике при краткосрочном планировании рыбохозяйственных работ на Байкале.

В области вековых колебаний для омуля найдены 60-летние циклы, аналогичные известным для океанических рыб. Знание этой цикличности также важно для долгосрочного планирования уловов омуля. Также она позволяет снять ненужные дебаты в обществе относительно экологического здоровья озера, какие наблюдения в СССР в 1960–70-х гг.

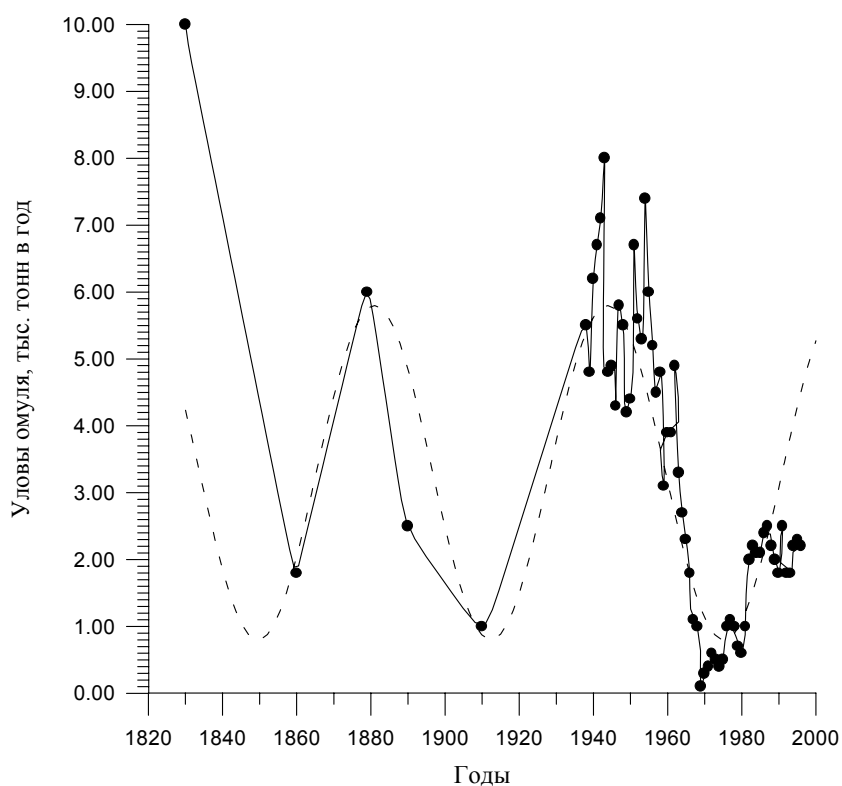


Рис. 6. Динамика уловов омуля в оз. Байкал с 1830 по 1996 гг. Синусоидой аппроксимированы их 60-летние колебания

Литература

1. Антипова Н. Л. О колебаниях численности видов мезозоиры в планктоне озера Байкал / Н. Л. Антипова // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1963. – Т. 13. – С. 235–241.
2. Антипова Н. Л. Сезонные и годовые изменения фитопланктона в озере Байкал / Н. Л. Антипова // Тр. Лимнол. ин-та СО АН СССР. – 1963. – Т. 2(22), ч. 2. – С. 12–28.
3. Антипова Н. Л. Межгодовые изменения в фитопланктоне Байкала в районе Больших Котов за период 1960–1970 гг. / Н. Л. Антипова // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы / ред. О. М. Кожова. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1974. – С. 75–84.
4. Афанасьева Э. Л. Отряд Copepoda – веслоногие, подотряд Calanoida / Э. Л. Афанасьева // Атлас и определитель пелагиобионтов Байкала / под ред. О. А. Тимошкина. – Новосибирск : Наука, 1995. – С. 365–395.
5. Бондаренко Н. А. Экология и таксономическое разнообразие планктонных водорослей в озерах горных областей Восточной Сибири : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Н. А. Бондаренко. – Борок, 2009. – 46 с.
6. Бондаренко Н. А. Продукция фитопланктона Южного Байкала / Н. А. Бондаренко, Н. Е. Гусельникова // Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Сер. биол. – 1989. – Вып. 1. – С. 77–80.
7. Бульон В. В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах / В. В. Бульон. – СПб. : Наука, 1994. – 222 с.
8. Бульон В. В. Соотношение между первичной продукцией и рыбопродуктивностью водоемов / В. В. Бульон, Г. Г. Винберг // Основы изучения пресноводных экосистем. – Л., 1981. – С. 5–10.
9. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов / Г. Г. Винберг. – Минск, 1960. – 329 с.
10. Винберг Г. Г. Общие особенности экологической системы оз. Дривяты / Г. Г. Винберг // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1970. – Т. 15. – С. 185–195.
11. Винберг Г. Г. Особенности экосистем пресноводных водоемов (из итогов советских исследователей по Международной биологической программе) / Г. Г. Винберг // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1975. – № 1. – С. 83–93.
12. Винберг Г. Г. Удобрение прудов / Г. Г. Винберг, В. П. Ляхнович. – М. : Пищ. пром-сть, 1965. – 271 с.
13. Винберг Г. Г. Проблемы первичной продукции водоемов // Экология водных организмов / Г. Г. Винберг, О. И. Кобленц-Мишке. – М. : Наука, 1966. – С. 168–186.
14. Вотинцев К. К. Гидрохимия озера Байкал / К. К. Вотинцев. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 310 с.
15. Гидроэнергетика и состояние экосистемы озера Байкал / под ред. А. К. Тулохонова. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. – 280 с.
16. Грачёв М. А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал / М. А. Грачёв. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. – 154 с.
17. Евстафьев В. К. Модель «стоячих волн» многолетней динамики байкальского фитопланктона / В. К. Евстафьев, Н. А. Бондаренко // Биофизика. – 2000. – Т. 45, вып. 6. – С. 1089–1095.
18. Евстафьев В. К. К точности измерения биомассы фитопланктона озера Байкал / В. К. Евстафьев, Н. А. Бондаренко // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер.: Биология, экология. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 75–78.
19. Ивлев В. С. Интенсивность фотосинтеза и рыбная продукция прудов / В. С. Ивлев // Бюл. МОИП. Отд-ние биологии. – 1939. – Т. 48, № 1. – С. 29–34.
20. Кляшторин Л. Б. Крупномасштабные изменения рыбопродуктивности океана / Л. Б. Кляшторин // Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). – М. : Науч. мир, 2000. – С. 298–303.
21. Кляшторин Л. Б. О зависимости глобальной температурной аномалии от мирового потребления топлива / Л. Б. Кляшторин, А. А. Любушин // Современные глобальные изменения природной среды. – М. : Науч. мир, 2006. – Т. 2. – С. 537–543.
22. Кожов М. М. Сезонные и годовые изменения в планктоне озера Байкал / М. М. Кожов // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1955. – Т. 6. – С. 133–157.
23. Кожов М. М. Биология озера Байкал / М. М. Кожов. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 315 с.
24. Кожова О. М. О периодических изменениях в развитии фитопланктона озера Байкал / О. М. Кожова // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1961. – Т. 11. – С. 28–43.
25. Кожова О. М. Экологический мониторинг Байкала / О. М. Кожова, А. М. Бейм. – М. : Экология, 1993. – 350 с.
26. Кожова О. М. К вопросу о цикличности процесса многолетних колебаний биомассы зоопланктона в озере Байкал / О. М. Кожова, Н. Г. Мельник // Гидробиол. журн. – 1977. – Т. 13, № 1. – С. 36–39.
27. Кузеванова Е. Н. Особенности многолетней динамики фитопланктона и зоопланктона в южном Байкале : препринт / Е. Н. Кузеванова. – Иркутск, 1986. – 23 с.
28. Кузьмичёва В. И. Первичная продукция экосистемы рыбоводных прудов / В. И. Кузьмичёва // Успехи современной биологии. – 1976. – Т. 31, вып. 3. – С. 464–478.
29. Мамонтов А. М. Вылов омуля на Байкале и возможности его прогноза / А. М. Мамонтов // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость / ред. М. Ю. Бекман. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 188–201.
30. Многолетние показатели развития зоопланктона озер / ред. Н. Н. Смирнов. – М. : Наука, 1973. – С. 133–178.

31. Поповская Г. И. Фитопланктон глубочайшего озера мира // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. – Л., 1987. – Т. 172. – С. 107–116.
32. Поповская Г. И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения (1958–1990 гг.) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Г. И. Поповская. – Новосибирск, 1991. – 32 с.
33. Смирнов В. В. Ресурсы омуля и их прогноз на 1980–1985 годы / В. В. Смирнов // Динамика продуцирования рыб Байкала / ред. Г. И. Галазий, В. В. Смирнов. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 201–222.
34. Спектральный анализ и долгосрочный прогноз ведущих составляющих экологической системы оз. Байкал по фазовому инварианту / А. Г. Ивахненко [и др.] // Автоматика. – 1985. – № 2. – С. 15–24.
35. Тюрин П. В. О причинах снижения запасов байкальского омуля и неотложных мерах по их восстановлению / П. В. Тюрин // Вопр. ихтиологии. – 1969. – Т. 9, вып. 5. – С. 782–797.
36. Цискаришвили Л. П. Взаимоотношение первичной продукции фитопланктона и рыбопродуктивности в олиготрофных и евтрофных водоемах Грузии / Л. П. Цискаришвили // Тр. Междунар. симп. по проблемам мат. моделирования процессов взаимодействия человеческой активности и окружающей среды. – М., 1979а. – Т. 1. – С. 122–128.
37. Цискаришвили Л. П. Соотношение первичной продукции и рыбопродуктивности озерных водоемов Грузии / Л. П. Цискаришвили // Изв. АН Грузин. ССР. – 1979б. – Т. 5, № 2. – С. 171–177.
38. Шимараев Н. М. Гидрометеорологические факторы и колебания численности байкальского планктона / Н. М. Шимараев // Тр. Лимнол. ин-та СО АН СССР. – 1971. – Т. 12 (32). – С. 259–267.
39. Шимараев Н. М. О динамике содержания растворенного кремния в озере Байкал / Н. М. Шимараев, В. М. Домышева // Докл. Академии Наук. – 2002. – Т. 387, № 4. – С. 541–544.
40. Belykh O. I. Autotrophic picoplankton in Lake Baikal: abundance, dynamics, and distribution / O. I. Belykh, E. G. Sorokovikova // Aquatic Ecosystem Health & Management. – 2003. – Vol. 6, N 3. – P. 251–261.
41. Kajak Z. Influence of phosphorus loads and of some limnological processes on the purity of lake water // Hydrobiologia. – 1980. – Vol. 72, N 1–2. – P. 43–50.
42. Morgan N. C. Transfer efficiency / N. C. Morgan // The functioning of freshwater ecosystems. – Cambridge, 1980. – P. 329–334.
43. Oglesby R. T. Relationships of fish yield to lake phytoplankton standing crop, production and morphoedaphic factors / R. T. Oglesby // J. Fisheries Research Board of Canada. – 1977. – Vol. 34, N 12. – P. 2271–2279.
44. Sprules W. G. Size-based biomass and production models in the St. Lawrence Great Lakes / W. G. Sprules, J. D. Stockwell // J. Marine Science. – 1995. – N 52. – P. 705–710.

Long-term analysis of main trophic links dynamics in the Lake Baikal pelagic zone

V. K. Evstafyev¹, N. A. Bondarenko², N. G. Mel'nik

¹ Research Institute for Applied Physics, Irkutsk State University, Irkutsk

² Limnological Institute SB RAS

Abstract. The paper presents an analysis of the phytoplankton and zooplankton long-term dynamics in Lake Baikal in comparison with the omul yields. It is shown they demonstrates conjugate rhythms. The yields of omul were found to be maximal, on the local scale, in years succeed phytoplankton high-productive years. As well the 60–65-year long omul cycles similar to oceanic fishes was revealed.

Key words: Lake Baikal, phytoplankton, zooplankton, omul, long-term dynamics, cycles.

Евстафьев Владимир Кириллович
Научно-исследовательский институт прикладной физики при Иркутском госуниверситете
 664003, г. Иркутск, б. Гагарина 20
 кандидат химических наук,
 старший научный сотрудник
 тел. (3952) 24–18–70, факс: (3952) 24–18–55
 E-mail: evs@api.isu.ru

Бондаренко Нина Александровна
Лимнологический институт СО РАН
 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
 доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
 тел. (3952) 42-65-04, факс: (3952) 42-54-05
 E-mail: nina@lin.irk.ru

Evstafyev Vladimir Kirillovitch
Irkutsk State University
Research Institute for Applied Physics
 20 Gagarin Boul., Irkutsk, 664003
 Ph. D. of Chemistry,
 senior research scientist
 phone: (3952) 24–18–70, fax: (3952) 24–18–55
 E-mail: evs@api.isu.ru

Bondarenko Nina Aleksandrovna
Limnological Institute SB RAS
 3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
 D. Sc. in Biology, leading research scientist
 phone: (3952) 42-65-04, fax: (3952) 42-54-05
 E-mail: nina@lin.irk.ru