

УДК 556.55

**СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ДАЛЬНОГО  
(ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ). ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ**

Е. Г. Погодаев



Проведен анализ многолетних изменений фосфатного режима озера Дальнего. Выявлено, что в условиях низких возвратов производителей нерки его определяют фосфаты, депонированные в придонном слое. Минимальные заходы производителей нерки на нерест в последнее десятилетие привели практически к полному их истощению. Отмечается необходимость разработки мероприятий по восстановлению депонированных запасов биогенов.

Настоящим сообщением мы начинаем цикл работ, посвященных анализу процессов, происшедших в экосистеме озера Дальнего в период с 1934 по 2000 годы.

Этот водоем по праву считается одним из самых изученных нерковых нерестово-выростных водоемов в азиатском регионе. Вот уже более шестидесяти пяти лет здесь ведутся непрерывные стационарные ихтиологические, гидробиологические и лимнологические наблюдения. За все время исследований экосистема озера претерпевала значительные изменения. Тридцатые годы характеризовались максимальными подходами (до 150 тыс. шт.) и пропусками (до 141 тыс. шт.) производителей на нерест. Вместе с трупами отнерестившихся производителей в озеро вносилось большое количество биогенов, в частности фосфора (107–530 кг). Ежегодное среднее содержание растворенных в воде озера фосфатов не опускалось ниже 113 мг/м<sup>3</sup>. Экосистема функционировала стабильно на высоком уровне развития. Конец сороковых годов ознаменовался резким сокращением подходов производителей (1,5–21 тыс. шт.), что привело к закрытию промысла нерки в протоке Дальней. Уменьшилось поступление фосфора со снеткой (6–105 кг). Среднегодовая концентрация растворенных фосфатов упала до 83 мг/м<sup>3</sup>. Наметилась тенденция дисбаланса трофических уровней и нарушения установившихся связей. В пятидесятых годах открылся японский морской промысел, который обусловил дальнейшее сокращение численности подходов производителей (1–12 тыс. шт.). Поступление каркасного фосфора снизилось ниже критического уровня. Среднегодовые концентрации фосфатов упали до 35–65 мг/м<sup>3</sup>. В семидесятых годах экосистема вновь стабилизировалась, но уже на более низком уровне развития. Последовавшее в 80-х годах значительное (50–80 тыс. шт.) увеличение подходов производителей нерки способствовало лишь небольшому повышению содержания фосфатов.

Цель настоящей работы — провести анализ многолетних изменений содержания фосфатов в воде оз. Дальнее.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**

Материалом для работы послужили данные первичной обработки гидрохимических проб воды за весь период наблюдений, обобщенные результаты годовых отчетов, архивов КамчатНИРО и архивов Паратунского экспериментального сектора (оз. Дальнее). С 1937 по 1975 годы использованы материалы, собранные Е.М. Крохиным и Ф.В. Крогиус. С 1980 г. в сборе материалов непосредственное участие принимал автор.

Отбор проб на гидрохимический анализ осуществляли с 1937 года по настоящее время по одной методике на горизонтах 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 55 м. Пробы брали дважды в месяц в безледный период и один раз в месяц подо льдом. Использовали литровый батометр.

Первичную обработку собранного материала проводили по стандартным методикам. Фосфаты анализировали колориметрически, по молибдату и стандартному раствору кислой фосфорнокислой соли. Поскольку Е.М. Крохин при определении деструкции принимал изобату 20 м за верхнюю границу гипolimниона, расчет содержания фосфатов производили отдельно по слоям (трофогенный слой 0–20 м, гипolimнион 20–55 м) (Крогиус, 1978). Методика подсчета поступления фосфатов со снеткой осталась прежней (Крохин, 1967; Крогиус, 1978). Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в нерке принято как 0,28% (Кизеветтер, 1948). Если средняя масса нерки оз. Дальнее равна 1,88 кг, то на одну рыбу приходится 5,3 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. За период до 1975 г. использовали расчетные цифры Е.М. Крохина. Математическую обработку проводили с помощью программ Excel 7.0 и Statistica 6.0.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Первым условием эффективного функционирования экосистемы любого нерестово-выростного водоема является наличие определенного уровня концентрации биогенных элементов (в частности фосфатов). Основными источниками их поступления в озеро являются: автохтонное органическое вещество (продукт интенсивного бактериального разложения недоиспользованной зоопланктоном первичной продукции —



деструкции) (Крохин, 1973) и аллохтонное органическое вещество (внесение в водоем продуктов разложения травяного и листового покрова с водосбора посредством грунтового и поверхностного стока, плюс сненка, оставшаяся в озере после нереста производителей красной) (Крохин, 1957; Крохин, 1974). В годы максимальных подходов нерки последний источник имел большое значение и составлял до 26% от общего поступления фосфатов в озеро. Специальные расчеты (Крохин, 1967) показали, что влияние величины пропуска производителей на содержание фосфатов имеет место, если в озеро каждый год заходит не менее 500–700 рыб на  $1 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ . Пересчет на общий объем озера Дальнего дает нам величину в 21–28 тыс. шт. взрослых рыб. За весь период наблюдений такое количество нерки нерестовало только два десятка лет — в конце 30–40 годов и во второй половине 80-х годов. Учитывая среднюю массу взрослой нерки (1,88 кг) и соответствующее содержание в ней  $\text{P}_2\text{O}_5$  (5,3 г), было подсчитано количество каркасного фосфора, ежегодно поступавшего в озеро (рис. 1). Величина вносимого в озеро с трупами отнерестившихся производителей фосфора колебалась в очень значительных пределах. Максимум был отмечен в 1937 г. и составил 530 кг, минимум в 1976 г. — всего 2,1 кг. Как видно из рисунка, отмеченные концентрации фосфатов в воде озера на следующий год не соответствуют величине фосфора, поступившего в предыдущем году. К настоящему моменту точно неизвестно время, необходимое для перехода органического фосфора, содержащегося в сненке, в минерализованную стадию. Поиск каких-либо количественных зависимостей между этими двумя факторами (со сдвигом на 1, 2, 3, 4 года) не дал положительных результатов.

Используя те же величины, несложно подсчитать, что для того чтобы существенным образом влиять на фосфатный баланс в водоеме, необходимо поступление фосфора со сненкой не менее 110 кг в год. Значение этого фактора особенно отчетливо проявилось после резкого сокращения

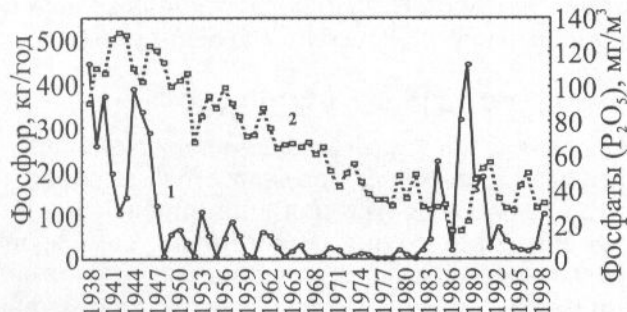


Рис. 1. Количество фосфора, поступающего в озеро со сненкой (1), и концентрации фосфатов в воде озера в следующем году (2) за период 1938–1998 гг.

общих подходов половозрелой нерки. Учитывая значительные колебания величины подходов, мы для сопоставления ее с концентрацией фосфатов, по примеру Е.М. Крохина (1968) и Ф.В. Крогиус (1978), весь рассматриваемый период разбили на пять частей (таблица). Представленные данные показывают, что содержание фосфатов сократилось после второго периода на  $30 \text{ мг/м}^3$  и составило  $2,7 \text{ мг/м}^3$  в год; после третьего периода — на  $23,6 \text{ мг/м}^3$  ( $2,1 \text{ мг/м}^3/\text{год}$ ); после четвертого периода — на  $26,7 \text{ мг/м}^3$  ( $1,78 \text{ мг/м}^3/\text{год}$ ). В течение пятого периода содержание фосфатов, несмотря на существенное (в среднем  $121,1 \text{ кг}$  в год) общее увеличение поступления фосфатов со сненкой, повысилось незначительно ( $5,9 \text{ мг/м}^3$  и  $0,53 \text{ мг/м}^3/\text{год}$ ).

При исследовании сезонной динамики содержания фосфатов обращает на себя внимание отличие этих процессов в двух существенно различающихся по своим функциональным особенностям слоях — трофогенном слое и гиполимнионе. Если в первом происходит фотосинтез и, соответственно, утилизация растворенных в воде фосфатов, то во втором происходит их накопление. Сезонная динамика концентрации растворенных в воде фосфатов в соответствующие периоды представлена на рисунке 2. Несмотря на периодическое снижение их концентраций, она остается постоянной в течение всех лет наблюдений. В зимние месяцы подо льдом происходит переход фосфатов из донных отложений в толщу воды и медленное их распространение в верхние слои. Подо льдом в зимние месяцы фотосинтез практически отсутствует, утилизация биогенов не происходит, следовательно, отмечается их накопление до максимальных величин как в трофогенном слое, так и в гиполимнионе. Весной (май–июнь), во время полной циркуляции, содержание накопленных в гиполимнионе биогенов падает и достигает минимума в конце июня. Они поступают и равномерно распределяются в трофогенном слое. Если же весенняя циркуляция бывает неполной, то в трофогенный слой поступает только часть биогенов из верхних слоев гиполимниона. Основные же запасы фосфатов, сосредоточенные глубже 35–40 м, оказываются недоступными. Отсутствие полной весенней циркуляции бывает значительно реже, чем ее на-

Таблица. Среднегодовое содержание фосфатов в различных слоях оз. Дальнее по периодам

Периоды	Содержание фосфатов, $\text{P}_2\text{O}_5$ мг/м <sup>3</sup>		
	0–20 м	20–50 м	0–55 м
1937–1950	85,2	146,2	113,3
1951–1961	61,8	108,0	83,3
1962–1972	39,9	82,3	59,7
1973–1987	15,8	50,1	33,0
1988–1998	23,5	54,8	38,9



личие, что в многолетнем плане на сезонной динамике фосфатов не отражается. В гипolimнионе, после весенней циркуляции, снова происходит повышение содержания фосфатов. Оно продолжается до ноября, когда с наступлением осенней циркуляции наблюдается снижение их концентраций, обусловленное равномерным распределением по всей толще воды. В трофогенном слое использование биогенов фитопланктоном продолжается в течение всего вегетационного периода. Поэтому падение содержания фосфатов в трофогенном слое является более глубоким и продолжительным. Поздней осенью, благодаря осенней циркуляции, их содержание там вновь повышается. Наряду с общим понижением уровня концентрации биогенов уменьшается и амплитуда их сезонных колебаний в обоих слоях в каждом из последующих периодов, что говорит о снижении интенсивности продукционных процессов в экосистеме.

Анализ сезонной динамики фосфатов показал, насколько различны и вместе с тем тесно связаны процессы потребления и восстановления их содержания в трофогенном слое и гипolimнионе. Поэтому динамику содержания этого биогена в многолетнем аспекте необходимо оценивать не только для всей толщи воды, но и отдельно по слоям (рис. 3). Среднегодовые концентрации фосфатов в трофогенном слое значительно ниже.

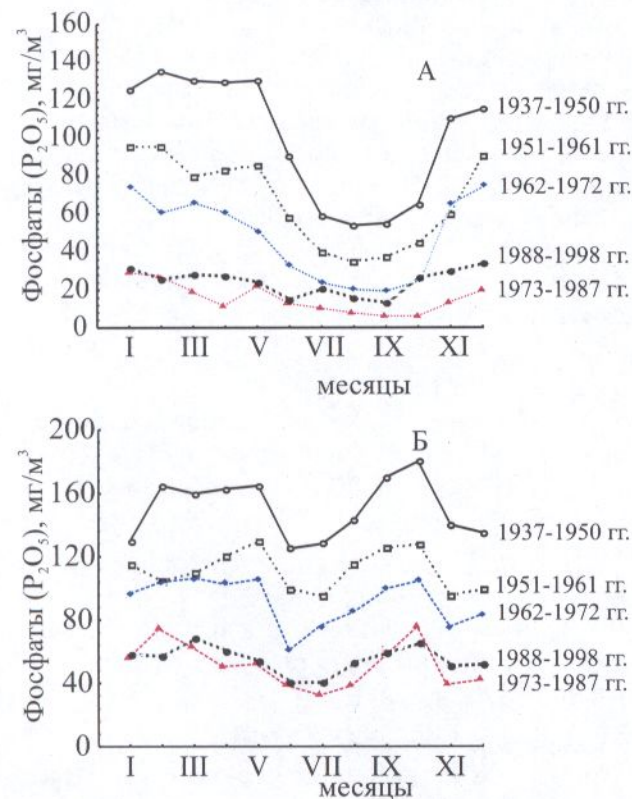


Рис. 2. Сезонное распределение фосфатов в трофогенном слое (А) и гипolimнионе (Б) оз. Дальнее по периодам (1937–1972 гг., периоды по Крогиус, 1978)

Межгодовые колебания в нем и в гипolimнионе не всегда синхронны, а иногда даже и противофазны.

В подавляющем большинстве случаев это являлось результатом отсутствия в эти годы полной весенней циркуляции (на рисунке помечены стрелками). Как видно из рисунка, неуклонная тенденция снижения содержания фосфатов продолжалась вплоть до середины восьмидесятых годов. В четвертом периоде общее количество биогенов было столь низким, что не только в поверхностном, но и во всем трофогенном слое в летние месяцы их концентрации опускались практически до аналитического нуля (см. рис. 2).

Считается (Крогиус и др., 1969), что поверхностный и грунтовый стоки в оз. Дальнее могут поддерживать содержание фосфатов в воде на уровне  $75 \text{ мг/м}^3$ . Как было отмечено ранее (Крохин, 1957, 1967, 1968) и подтверждается нами, большую часть всего рассматриваемого периода, отмечавшееся количество фосфатов поддерживалось именно за счет стоков с водосбора. Как оказалось, наблюдаемые величины значительно отличались от расчетных (рис. 4).



Рис. 3. Многолетние изменения содержания фосфатов в слоях оз. Дальнее (стрелками указаны годы отсутствия полной весенней циркуляции)

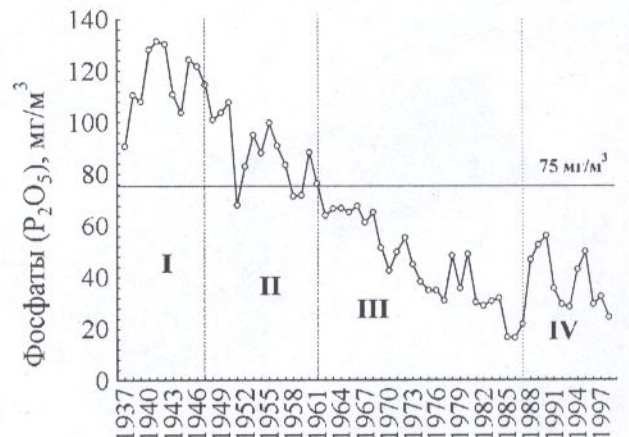


Рис. 4. Многолетние изменения содержания фосфатов во всей толще воды оз. Дальнее



Для наглядности мы разбили весь график на несколько секторов. В первый сектор попали годы, когда подходы нерки были большими. Количество вносимого со снеткой фосфора составляло 110 кг/год и более, что оказывало существенное влияние на общий баланс фосфатов. Во второй сектор попали годы, когда роль каркасного фосфора уже утрачивала свое значение, но средний уровень фосфатов все же не опускался ниже величины в  $75 \text{ мг/м}^3$ , которая в основном поддерживалась стоками с водосбора. В третий сектор попали годы, когда о влиянии этого источника биогенов вообще говорить не приходится, а фосфатов, вносимых со стоками с водосбора, не хватало даже для удовлетворительного функционирования экосистемы. Существующий в те годы уровень фосфатов поддерживался исключительно благодаря наличию фосфора, депонированного в придонном слое, но эти запасы тоже были не беспредельны, и к середине восьмидесятых годов они истощаются практически до нуля. Восстановление поступления каркасного фосфора до уровня, превышающего 110 кг/год, не исправило положения. Только стабильно высокие подходы нерки во второй половине этого десятилетия (четвертый сектор) несколько пополнили депонированные запасы фосфатов в придонном слое и обеспечили общее годовое их содержание на уровне более  $40 \text{ мг/м}^3$ . Последующее понижение возвратов нерки вновь подвело экосистему озера к критической черте (рис. 5).

Но если в конце 70-х годов это явление носило сезонный характер (на рисунке выделено белым цветом), то в ближайшие годы оно будет круглогодичным.

В сложившейся ситуации, учитывая неблагоприятное положение с содержанием фосфатов и практически полное истощение депонированных резервов, а также бесперспективность надежд на увеличение поступления в озеро фосфо-

ра с трупами отнерестовавших производителей нерки, единственным способом компенсировать недостаток биогенов является внесение в водоем минеральных удобрений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали настоящие исследования, критерием состояния баланса биогенных элементов в оз. Дальнее является уровень их содержания в придонном слое. В годы многочисленных подходов нерки каркасный фосфор не сразу включался в трофическую цепь, в большом количестве оседал и накапливался в придонном слое. Таким образом, создавались многолетние депонированные запасы биогенов. Часть этих запасов ежегодно, посредством апвеллинга, в период циркуляции вытягивалась со дна и включалась в трофическую цепочку. Количество используемых биогенов определялось продолжительностью и интенсивностью весенней и осенней циркуляции и не являлось постоянной или соответствующей поступлению величиной (отсутствие связи между количеством вносимого каркасного фосфора и содержанием фосфатов). В конце пятидесятых годов приходная часть сократилась до минимума. Начался процесс постепенного истощения депонированных запасов, который продолжался более 30 лет. Поступление биогенов с водосбора не могло обеспечить их положительный баланс. Увеличение поступления каркасного фосфора с многочисленными возвратами нерки в конце 80-х годов обеспечило как повышение уровня продуктивности всех трофических звеньев экосистемы, так и восстановление депонированных запасов. Современное же положение заставляет нас рассматривать вопрос о проведении в ближайшее время искусственной фертилизации водоема.

Подобная динамика рассматриваемых процессов, вероятно, является характерной особенностью всех глубоких нерковых озер Камчатки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кизеветтер И.В. 1948. Об изменении химического состава тела красной (нерки) // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 28. С. 29–42.

Крогиус Ф.В. 1978. Содержание фосфатов и первичная продукция в озере Дальнем в течение 40 лет (1937–1976 гг.) // Петропавловск-Камчатский. Камчатский НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. 1978. 40 с.

Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Менишуткин В.В. 1969. Сообщество пелагических рыб в озере Дальнем // Л.: Наука. 86 с.

Крохин Е.М. 1957. Источник обогащения нерестовых озер биогенными элементами // Изв.

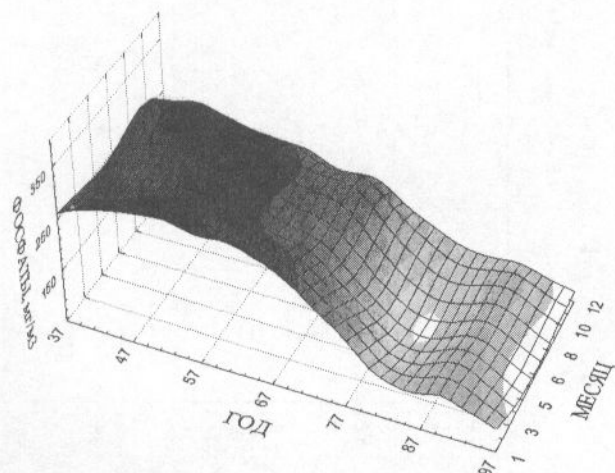


Рис. 5. Многолетняя сезонная динамика концентрации фосфатов в придонном слое

Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 45. С. 29–55. — 1967. Влияние размеров пропуска производителей красной на фосфатный режим нерестовых озер // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 57. С. 32–54. — 1968. Обзор работ, проведенных Паратунской экспериментальной лабораторией (ПЭЛ) Камчатского отделения ТИНРО // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 64. С. 356–364. — 1973. Расчет деструкции органического вещества в озере по сезонному ходу вертикального распределения кислорода на примере оз. Дальнего // Водные ресурсы. № 6. С. 78–88. — 1974. Расчеты аллохтонного органического вещества, поступающего в оз. Дальнее // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 90. С. 93–96.

*Куренков С.И., Погодаев Е.Г., Луферов В.П., Варнавская Н.В., Вецлер Н.М.* 1987. Состояние

экосистемы озера Дальнего в 1985–1986 гг. // Петропавловск-Камчатский. Камчатский НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. 37 с.

*Куренков С.И., Погодаев Е.Г., Вецлер Н.М.* 1991. Состояние экосистемы озера Дальнего в 1987–1990 гг. // Петропавловск-Камчатский. Камчатский НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. 18 с.

*Куренков С.И., Погодаев Е.Г.* 1994. Состояние экосистемы оз. Дальнее в 1991–1994 гг. // Петропавловск-Камчатский. Камчатский НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. 18 с. — 1996. Предварительные данные о механизме формирования относительной численности возрастных групп смолтов нерки оз. Дальнее // Петропавловск-Камчатский. Камчатский НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. 19 с.