

УДК 639.312:631.8

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА ДАЛЬНЕЕ В 1999–2004 ГГ.

Н. М. Вецлер, Т. К. Уколова, В. Д. Свириденко



Представлены данные по содержанию биогенных элементов в озере Дальнее за шестилетний период. Проанализирована сезонная и межгодовая динамика биогенов в эвфотическом слое (0–20 м) и в слое 0–50 м. Многолетние изменения концентрации фосфатов и нитратного азота связаны с динамикой захода производителей нерки в озеро Дальнее. Отмечена стабильность содержания аммонийного и нитритного азота, железа и кремния в озерной воде по сравнению с предыдущими периодами исследований. Снижение нерестовых заходов нерки в 1999–2004 гг. привело к уменьшению количества фосфора, поступающего в озеро со снеткой. Межгодовые колебания содержания фосфатов в эти годы определялись, в основном их притоком с поверхностным и грунтовым стоками. Сезонная динамика биогенных элементов зависела от гидрологических процессов в озере и интенсивности развития фитопланктона. Минеральный азот в озере присутствовал в основном в форме аммония, доля нитратных соединений была незначительна, а нитритных форм ничтожна.

N. M. Vezler, T. K. Ukolova, V. D. Sviridenco. Hydrochemical regime of Dalneye Lake in 1999–2004 // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers. Vol. 8. Petropavlovsk-Kamchatski: KamchatNIRO. 2006. P. 142–149.

Data on the occurrence of nutrients in Dalneye Lake for the period of six years are demonstrated. Seasonal and interannual dynamics of nutrients has been analyzed in the euphotic zone (0–20 m) and in the zone 0–50 m. Long-term fluctuations of concentration of phosphates and nitrate nitrogen have found associated with dynamics of sockeye salmon spawning run in Dalneye Lake. Stable concentrations of ammonium and nitrite nitrogen, iron and silicon in the lake water have been demonstrated, comparing to those in earlier periods of observation. The decrease of sockeye salmon escapement in 1999–2004 caused the decrease of the income of phosphorous to the lake from fish carcasses. The interannual fluctuations of the concentration of phosphorous in this period were determined mainly by the surface and underground inflow drainages. Seasonal dynamics of nutrients depended on the hydrological processes in the lake and the intensity of phytoplankton development. Mineral nitrogen was occurring in the lake mostly as ammonium, the part of nitrate compositions and of nitrite compositions was insufficient and miserable respectively.

Озеро Дальнее является местом нереста и нагула нерки (*Oncorhynchus nerka* Walb.). Оно находится на юго-востоке Камчатского полуострова в бассейне р. Паратунка, впадающей в Авачинскую бухту, и расположено на высоте 29,7 м над уровнем моря. По морфометрическим показателям оз. Дальнее относится к водоёмам средней величины. Его длина составляет 2,5 км; средняя ширина — 0,54 км; площадь зеркала — 1,36 км²; средняя глубина — 31,5 м. Максимальная глубина озера (60,5 м) находится в центральной части озера (Крогиус и др., 1987).

Гидрохимические исследования на озере были начаты в тридцатые годы прошлого столетия сотрудниками Камчатского отделения ТИНРО Е.М. Крохиным и Ф.В. Крогиус и продолжаются до настоящего времени. Первые обобщения этих исследований были сделаны Е.М. Крохиным в его докторской диссертации (1948). Сопоставление данных по фосфатному режиму водоёма с динамикой заходов рыб-производителей позволило Е.М. Крохину теоретически обосновать точку зрения о влиянии фосфора на кормовую базу молоди нерки и общую продуктивность водоёма (Крохин, 1957; 1959; 1967). В результате исследований химичес-

кого состава воды озера, проведённых в летне-осенний период 1970 г., были получены более полные сведения о концентрации биогенных элементов (азота, фосфора, кремния и железа) и органических веществ (Семёнов и др., 1973). Результаты гидрохимического мониторинга были использованы при создании модели сообщества пелагических рыб озера Дальнее (Крогиус и др., 1969), при определении первичной продукции за сорокалетний период (Крогиус, 1978) и при обобщении многолетних данных (1934–1985 гг.) по исследованию водоёма (Крогиус и др., 1987).

Мониторинг фосфатного режима озера (1937–1998 гг.) показал, что при низких возвратах производителей нерки происходит постепенное истощение запасов фосфора, депонированных в придонных слоях, и снижение его количества во всей водной толще озера (Погодаев, 2002).

В 1980–1998 гг. гидрохимический анализ воды включал в основном определение концентрации фосфатов и растворённого кислорода. С 1999 г. исследования водоёма стали проводиться по более полной программе, позволившей проследить сезонную и межгодовую динамику содержания биогенных элементов (фосфора, азота, железа и кремния).

Целью настоящей работы является обобщение результатов исследований гидрохимического режима озера за 1999–2004 гг. и проведение сравнительного анализа многолетних изменений содержания биогенов в воде оз. Дальнее.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для работы являлись данные гидрохимических исследований, проводимых на озере Дальнем в 1999–2004 гг. Мониторинг биогенного режима включал определение таких компонентов, как минерального фосфора и азота (аммония, нитритов и нитратов), общего железа и кремния.

Сбор гидрохимического материала проводили на постоянной станции в центральной части пелагиали озера. Благодаря простой морфометрии озера и отсутствию значительных поверхностных притоков центральная станция с достаточной достоверностью характеризует распределение и динамику биогенных элементов (Крохин, 1948). Материал собирали круглогодично: один — три раза в месяц в безледный период и ежемесячно — в период ледостава. Отбор гидрохимических проб проводили на горизонтах 0, 5, 10, 20, 30, 40 и 50 м при помощи опрокидывающегося батометра. Определение концентрации биогенов проводили стандартными методами, согласно «Руководству ...» (Алексин и др., 1973). Минимальная концентрация железа, определяемая применяемым методом, составляла 0,05 мг Fe/л. Средневзвешенные величины концентрации биогенных элементов рассчитывали для трофогенного слоя (0–20 м) (Сорокин и др., 1974; Павельева, 1984) и слоя 0–50 м.

В работе также были использованы материалы гидрохимических исследований, проводимых на оз. Дальнее в 1970 г. (Семёнов и др., 1973), и архивные данные по пропуску рыб-производителей в 1981–2004 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фосфатный режим

Источниками поступления фосфора в озеро являются приток фосфора с нерестующей рыбой, поверхностный и грунтовый стоки и внутриводоёмные процессы.

Сезонные колебания концентрации минерального фосфора в воде озера были обусловлены в основном гидрологическими процессами и динамикой развития фитопланктона. Подо льдом интенсивность фотосинтеза минимальна, утилизация биогенов водорослями незначительна, в результате

чего происходило накопление фосфатов в придонном слое и во всей толще воды (рис. 1).

Наибольшее потребление фосфора фитопланктоном наблюдалось в летне-осенний период. С июня по октябрь концентрация фосфатов в поверхностных водах была минимальна и составляла 0,008–0,020 мг P/л. Максимально высокое содержание минерального фосфора в октябре (0,081 мг P/л) в придонном слое, по-видимому, определялось поступлением фосфатов с паводковыми водами в период осенних циклонов. В связи с равномерным распределением биогенов по всей толще воды содержание фосфора в периоды весенней (май) и осенней циркуляции (ноябрь) уменьшалось в слое 0–50 м и снижалось до минимума на нижнем горизонте.

Одним из основных факторов, определяющим межгодовую динамику фосфатного режима озера, является поступление фосфора с нерестующей рыбой, тела которой, разлагаясь после гибели, обогащают озерные воды биогенами и органическим веществом (Крохин, 1957). По данным Е.М. Крохина (1967), в годы максимальной численности дальнеозёрского стада нерки (1937–1947 гг.) со снёжкой в озеро вносилось до 26% общего поступления фосфора, при этом размер пропуска производителей влиял на содержание фосфатов, если в озеро ежегодно заходило не менее 20–28 тыс. шт. рыб. В 1999–2004 гг. подходы нерки колебались от 600 (2004 г.) до 30 тыс. шт. (2003 г.). Учитывая средний вес взрослой нерки (1,88 кг) (Погодаев, Вецлер, 1999) и соответствующее содержание в ней P_2O_5 (5,3 г) (Кизеветтер, 1948), была подсчитана величина фосфора, ежегодно поступающего в озеро со снёжкой (табл. 1).

Количество фосфора, вносимое в озеро с половозрелой неркой, в 1981–1998 гг. изменялось в бо-

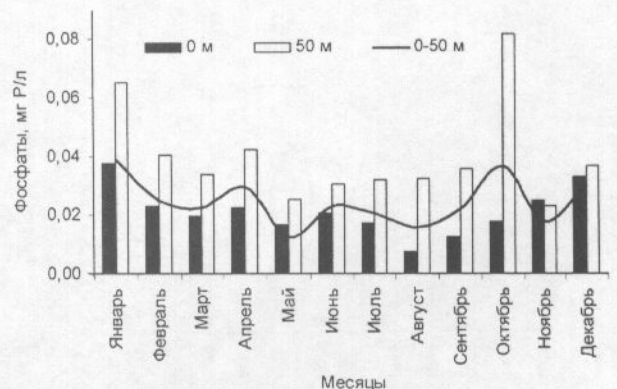


Рис. 1. Сезонные изменения среднего многолетних значений концентрации фосфатов в поверхностном (0 м) и придонном (50 м) слоях и в слое 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

Таблица 1. Поступление фосфатов в озеро Дальнее со снёнкой в 1999–2004 гг.

Годы	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Пропуск нерки, экз.	1140	3400	1400	8700	30000	600
Количество P_2O_5 , кг	6,0	18,0	7,4	46,1	159,0	3,2
Количество P, кг	2,7	7,9	3,3	20,3	69,7	1,4
Концентрация P, мкг/л	0,06	0,18	0,07	0,47	1,63	0,03

лее значительных пределах, чем в 1999–2004 гг. Максимум был отмечен в 1988 г. и составил 195 кг, минимум — в 1981 г. (1,5 кг). Наиболее высоким поступление фосфора со снёнкой было в период с 1984 по 1990 гг. и в среднем составляло 92,7 кг P/год. Начиная с 1991 г. приток этого биогена с нерестующими производителями уменьшился более чем в четыре раза (19,1 кг P/год) (рис. 2).

Вопрос о периоде, необходимом для перехода органического фосфора, содержащегося в снёнке, в минерализованную стадию, до настоящего времени является спорным. По мнению Риккера (Ricker, 1937), этот процесс требует нескольких лет. Е.М. Крохин (1957) считал, что минерализация сненьки происходит в течение примерно шести месяцев. По данным В.В. Сапожникова с соавторами (2002), в оз. Курильское органическое вещество, поступившее с рыбой, пришедшей на нерест, утилизируется в течение 2-х месяцев.

В придонном слое аккумулировалось наибольшее количество фосфатов. В 1983–1991 гг. средняя их концентрация у дна составляла 0,124 мг P/л (рис. 3). В 1992–1998 гг. количество фосфатов в придонном слое уменьшилось до 0,075 мг P/л. Минимум содержания минерального фосфора у дна приходился на период 1999–2003 гг. (0,040 мг P/л). Анализ многолетних изменений фосфатного режима озера (1937–1998 гг.) показал, что в условиях низких возвратов производителей нерки его в основном определяли фосфаты, депонированные в придонном слое (Погодаев, 2002).

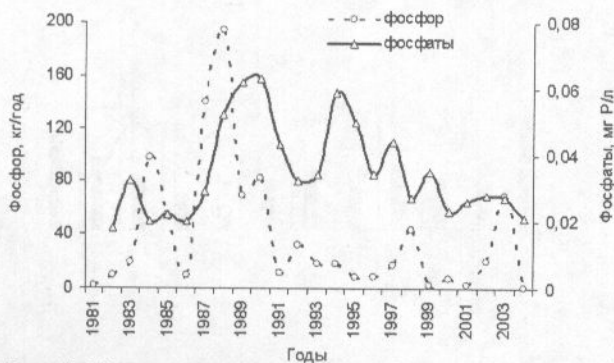


Рис. 2. Межгодовые изменения концентрации фосфатов и поступления фосфора со снёнкой в оз. Дальнее в 1981–2004 гг.

Полный водообмен в оз. Дальнее происходит за 3,5 г., то есть ежегодно в озере сменяется примерно 1/3 часть объема воды (Крогиус Ф.В. и др., 1969). Корреляционный анализ показал, что поступивший с рыбой фосфор участвует в круговороте в течение трёх лет. Среднегодовая концентрация фосфатов в придонном слое зависела от суммарного поступления фосфора со снёнкой за предшествующие три года (рис. 4).

Значительное увеличение заходов производителей нерки в середине 1980-х годов заметно повлияло на содержание фосфатов в озере. В годы наибольших заходов нерки на нерест (1988–1991 гг.) происходило постепенное их накопление в экосистеме. В 1981–1987 гг. в слоях 0–20 м и 0–50 м было отмечено минимальное количество фосфатов (в среднем 0,008 и 0,024 мг P/л соответственно). В период 1988–2004 гг. концентрация минерального фосфора в трофогенном слое была преимущественно выше среднеегодового уровня — 0,020 мг P/л (рассчитанного для периода 1981–2004 гг.). Однако начиная с 1995 г. межгодовые изменения содержания фосфатов в верхнем двадцатиметровом слое имели тенденцию к постепенному их убыванию (рис. 5).

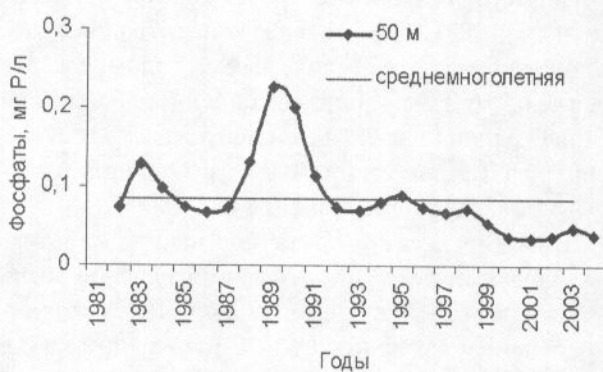


Рис. 3. Межгодовые изменения концентрации фосфатов в придонном слое (50 м) в оз. Дальнее в 1981–2004 гг.

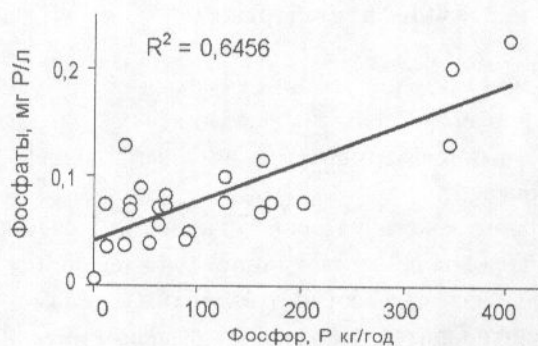


Рис. 4. Связь между содержанием фосфатов в придонном слое и количеством фосфора, поступившего в озеро со снёнкой за предшествующие три года в 1981–2004 гг.

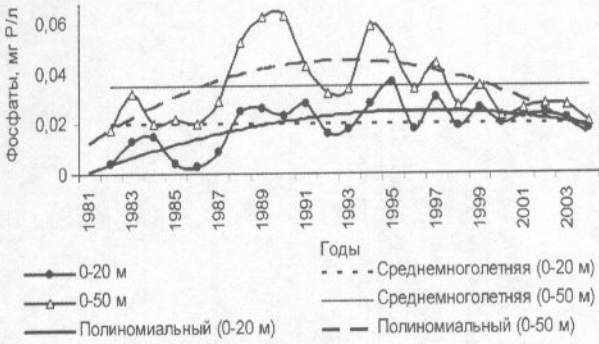


Рис. 5. Межгодовые изменения средневзвешенных значений концентрации фосфатов в слоях 0–20 и 0–50 м оз. Дальнее в 1981–2004 гг.

Наибольшая концентрация минерального фосфора в слое 0–50 м была характерна для периодов 1988–1991, 1994–1995 гг. и для 1997 г. (в среднем 0,053 мг Р/л). Начиная с 1992 г. подходы производителей нерки в озеро резко сократились (рис. 2), и количество фосфора, циркулирующего в экосистеме, значительно снизилось. В 1995–2000 гг. колебания содержания минерального фосфора в озере имели 2-летнюю цикличность с тенденцией постепенного снижения, связанную, по-видимому, с динамикой ската двухгодовиков и, возможно, с заходом на нерест рыб возраста 4₂₊. В 1999–2004 гг. концентрация фосфатов в слое 0–50 м опустилась ниже среднегодового уровня (для периода 1981–2004 гг.) — 0,035 мг Р/л. Межгодовые колебания содержания фосфатов в этот период определялись, по-видимому, в большей степени поверхностным и грунтовым стоками.

Многолетние изменения уровня воды в р. Дальняя косвенно отражают величину поверхностного и грунтового стоков в озеро и, соответственно, интенсивность притока биогенов, в том числе и фосфатов. Период с 1999 по 2004 гг. характеризовался как полноводный: среднегодовой уровень воды в р. Дальняя, как правило, превышал среднегодовой уровень (рис. 6). Очевидно, что в эти годы поступление фосфатов со стоком оказывало

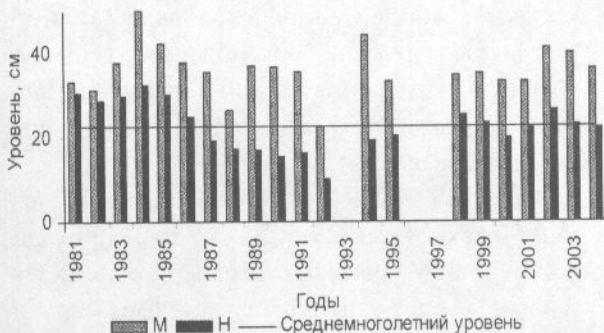


Рис. 6. Межгодовые изменения среднего (Н) и максимального (М) значений уровня воды в р. Дальняя в 1981–2004 гг.

существенное влияние на гидрохимический режим водоёма.

В 1999–2002 гг. приток фосфора с половозрелой неркой в связи с небольшими заходами производителей был минимальным и слабо влиял на содержание фосфатов в озере. По данным Е.М. Крохина (1967), поверхностный и грунтовой стоки могут поддерживать концентрацию фосфатов в оз. Дальнее на уровне 0,075 мг Р/л. В 1999–2004 гг. количество минерального фосфора в слое 0–50 м колебалось от 0,021 до 0,035 мг Р/л (рис. 2). Следовательно, основным источником поступления фосфора в озеро в исследуемые годы, по-видимому, являлись стоковые воды.

Азот

Минеральный азот присутствует в озёрной воде в трёх формах — аммонийной, нитритной и нитратной.

Присутствие азота аммония в водоёме определяется целым рядом факторов — количеством зашедших на нерест производителей нерки, величиной стока, интенсивностью процессов аммонификации азотсодержащих соединений, поступлением аммония в результате прижизненных выделений гидробионтов и потреблением его фитопланктоном.

Содержание аммонийного азота в воде озера Дальнее за период 1999–2004 гг. в среднем составило 0,09 мг N/л с максимумом концентрации 0,18 мг N/л в 2004 г., когда было отмечено значительное повышение его концентрации в водоёме в конце года, связанное с поступлением аммония с осенними паводками (рис. 7). Минимум азота аммония в озёрной воде приходился на 1999 г. (0,03 мг N/л), что, по-видимому, связано со значительным потреблением его фитопланктоном и преобладанием в этом году продукционных процессов над деструкционными. В озере Курильское большая часть первичной продук-

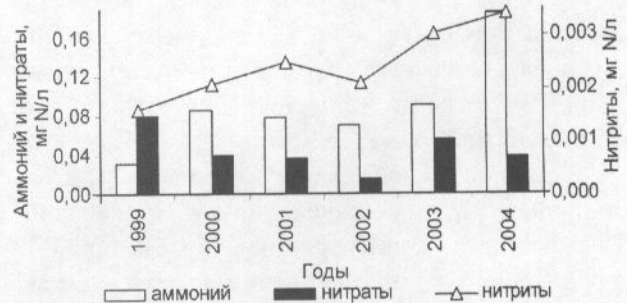


Рис. 7. Межгодовые изменения концентрации минеральных форм азота в слое 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

ции создается за счет аммонийного азота, а нитраты практически не расходуются в процессе фотосинтеза (Сапожников и др., 2002).

Присутствие нитратов в воде связано с процессами нитрификации аммонийных ионов в аэробных условиях под действием нитрифицирующих бактерий и поступлением первых с поверхностным и грунтовым стоками. Главным процессом, направленным на понижение концентрации нитратов, является потребление их фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород нитратов на окисление органических веществ.

Среднегодовое количество нитратов в озере колебалось от 0,080 до 0,017 мг N/л (рис. 7). Максимальные концентрации нитратного азота в озере были связаны с повышенной активностью нитрификационных процессов в 1999 г. Наименее интенсивно эти процессы проходили в 2002 г.

В период максимальных заходов нерки на нерест (1937–1948 гг.) количество нитратного азота в период осенней циркуляции составляло 0,400–0,500 мг N/л (Крогиус и др., 1969). В 1999–2004 гг. концентрация этого биогена не превышала 0,085 мг N/л.

В летне-осенние месяцы 1970 г. содержание нитратов изменялось в диапазоне от 0,005 до 0,146 мг N/л (Семенов и др., 1973). В 1999–2004 годах количество нитратного азота в озере превышало уровень 1970 года: концентрация нитратов с июня по октябрь колебалась от 0 до 0,390 мг N/л. Поскольку значительное количество азота вносится в озеро со снёжкой, многолетние изменения содержания нитратов, по-видимому, связаны с динамикой нерестовых заходов нерки в озеро Дальнее.

Нитриты являются промежуточной формой окисления азота и содержатся в озере в небольшом количестве (рис. 7). В 1999–2004 годах межгодовые колебания концентрации нитритного азота не превышали тысячной доли мг и в среднем составили 0,003 мг N/л. Содержание этого биогена в озере было достаточно стабильно во все годы исследований. В июне–октябре 1970 г. концентрация нитритов варьировала от 0 до 0,015 мг N/л (Семенов и др., 1973), а в этот же период 1999–2004 гг. — от 0 до 0,013 мг N/л.

Сезонное распределение аммония регулируется процессами аммонификации и нитрификации. Повышение его концентрации в водоёме происходит в конце года, что связано с поступлением аммония с осенними паводками и является результатом минерализации органического вещества снёж-

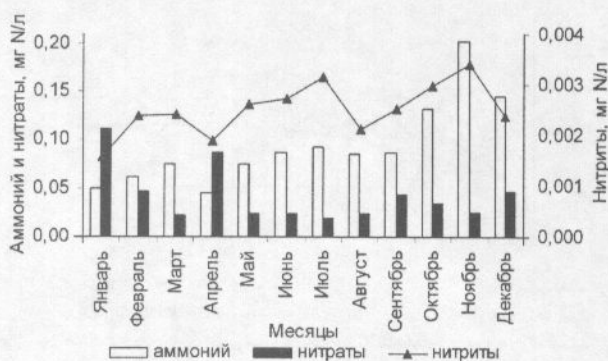


Рис. 8. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации минерального азота в слое 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

ки и планктона. Снижение содержания аммония в озёрной воде отмечается преимущественно в зимние месяцы (рис. 8).

Концентрация нитратов также подвержена заметным сезонным колебаниям (рис. 8). Наибольшее потребление нитратного азота происходило в период интенсивной вегетации фитопланктона. Осенью концентрация нитратов увеличивалась и достигала максимума зимой, когда при минимальном потреблении азота происходило разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. В 1970 г. количество нитратов в водной толще озера, наоборот, постепенно возрастало от июня к октябрю (Семенов и др., 1973). Подобный ход сезонной динамики, по мнению авторов, связан с преобладанием процессов бактериальной минерализации органических веществ и биохимического окисления минеральных форм азота.

Сезонные колебания нитритов аналогичны изменениям содержания аммония и характеризуются снижением их концентрации зимой и повышением в летне-осенний период (рис. 8). Аналогичный ход сезонной динамики нитритного азота был отмечен и в 1970 г. Увеличение содержания нитритов в воде является показателем усиленного разложения органических остатков в водоеме. Максимум их концентрации в ноябре, по-видимому, связан с деструкцией органического вещества в результате разложения снёжки и отмирания зоопланктона (босмины и коловраток, закончивших цикл своего развития).

В период 1999–2004 гг. преобладающей формой азота в озере был аммоний. На его долю приходилось в среднем 67% всего минерального азота. Относительное содержание нитратного азота составляло 31%, нитритного — 2% от суммы минеральных форм азота (рис. 9).

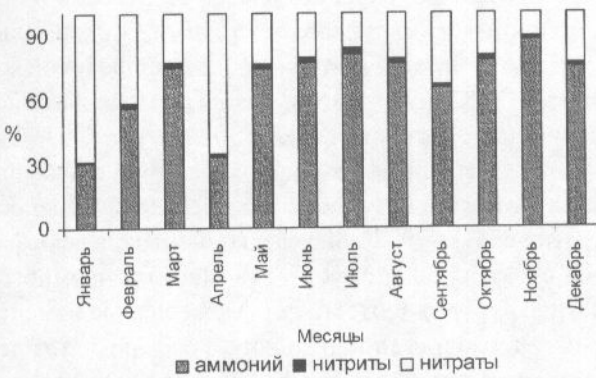


Рис. 9. Сезонные изменения соотношения минеральных форм азота в слое 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

Железо

Соединения железа поступают в водоём в результате химического выветривания горных пород, сопровождающегося их механическим разрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами в водоёме образуется сложный комплекс соединений железа. Являясь биологически активным элементом, железо в определенной степени влияет на интенсивность развития фитопланктона в озере.

Содержание железа в воде оз. Дальнее в среднем составило 0,05 мг/л с максимумом концентрации 0,07 мг/л в 2001 г. Наименьшее содержание железа (ниже 0,05 мг/л) было отмечено в 1999 и 2000 годах (рис. 10).

В июне–октябре 1970 г. концентрация железа в толще воды изменялась в диапазоне от 0 до 0,25 мг/л (Семёнов и др., 1973) и от 0 до 0,21 мг/л — в этот же период в 1999–2004 гг.

Сезонная динамика железа характеризуется снижением концентраций в зимний и повышением в летне-осенний период (рис. 11). Минималь-

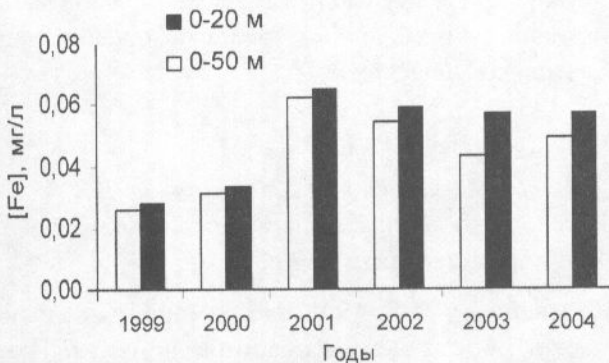


Рис. 10. Межгодовые изменения средневзвешенных значений концентрации железа в слоях 0–20 и 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

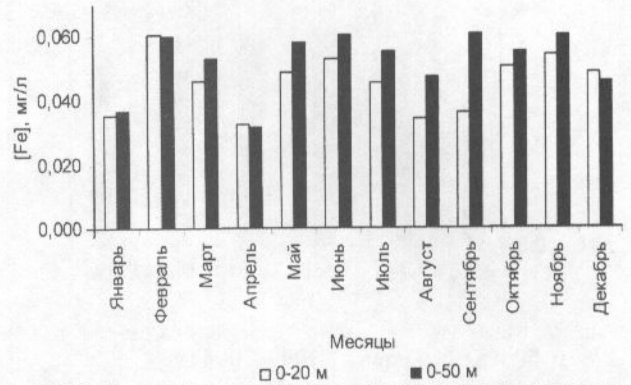


Рис. 11. Сезонные изменения среднегодовых значений концентрации железа в слоях 0–20 и 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

ное количество его в озёрной воде приходилось на апрель (ниже 0,05 мг/л). Последующее повышение концентрации железа в мае и в июне было связано с его поступлением в озеро с поверхностным стоком.

Максимальное потребление железа водорослями происходило в июле–августе, в период их массового «цветения». Содержание его в этот период понижалось как в верхнем 20-метровом слое, так и во всей толще воды. В позднюю фазу летней стратификации происходило потребление железа в верхних и накопление в нижних слоях озера. В осенние месяцы его содержание в воде, как правило, возрастало, что связано со снижением потребления. В годы с повышенной циклонической деятельностью значительное количество железа поступало в озеро с поверхностным стоком. Максимум концентрации железа в слое 0–50 м приходился на сентябрь. В 1999–2004 гг. в оз. Дальнее железо постоянно присутствовало в озёрной воде и, очевидно, не лимитировало развитие фитопланктона.

Кремний

В 1999–2004 гг. содержание кремния в воде было высоким и колебалось от 2,38 (1999 г.) до 4,55 мг/л (2002 г.) (рис. 12). Среднегодовая концентрация в оз. Дальнее составляла 3,70 мг/л.

Основными потребителями и продуцентами кремния являются диатомовые водоросли, доминирующие в фитосообществе озера (Крогиус и др., 1969, 1987; Павельева, 1974), поэтому сезонные колебания кремнекислоты были связаны с динамикой фитопланктона. Накопление кремния происходило в осенне-зимний период, наибольшее потребление — во время вегетации водорослей (рис. 13).

Характер сезонных колебаний кремнекислоты в верхнем двадцатиметровом слое был аналогич-

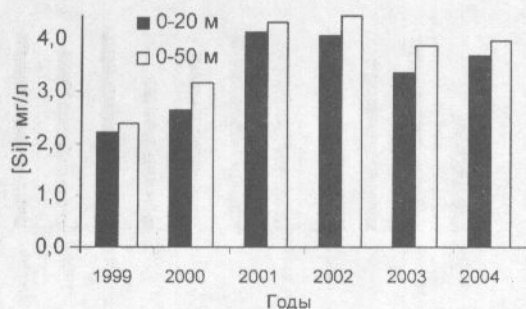


Рис. 12. Межгодовые изменения содержания кремния в слое 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

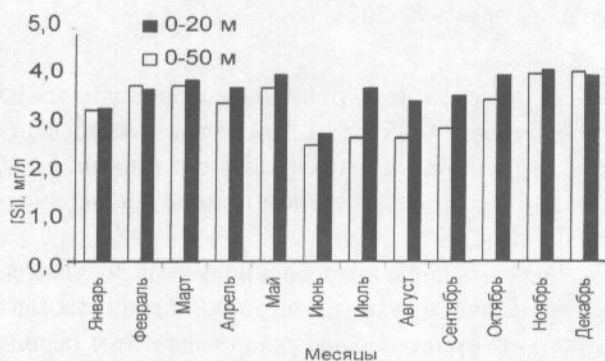


Рис. 13. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации кремния в слоях 0–20 и 0–50 м в оз. Дальнее в 1999–2004 гг.

чен изменениям в слое 0–50 м. Летний минимум их концентрации приурочен к периоду наибольшего развития водорослей (июнь). Наибольшее содержание кремния в слое 0–50 м наблюдалось во время весенней и осенней циркуляций. В верхних горизонтах максимум его концентрации был отмечен в декабре при минимальном «цветении» водорослей в озере.

Содержание кремнекислоты, как и железа, в озёрных водах не претерпело существенных многолетних изменений. В июне–октябре 1970 г. её концентрация на разных горизонтах колебалась от 1,50 до 6,50 мг/л (Семёнов и др., 1973), в этот же период 1999–200 г. — от 0,44 до 6,97 мг/л. В годы максимальных возвратов производителей нерки на нерест (1937–1948 гг.) также не наблюдалось резких колебаний в динамике содержания кремния (Семёнов и др., 1973). Количество кремния в озере регулируется в основном его поступлением со стоком и интенсивностью внутриводоёмных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ динамики биогенного режима оз. Дальнее показал значительные межгодовые колебания содержания фосфатов в озерных водах, которые оп-

ределялись поступлением фосфора с рыбой и поверхностным и грунтовым стоками. Максимальное накопление фосфатов в водной толще происходило в 1988–1991 гг., когда заходы производителей нерки на нерест превышали 50 тыс. шт. С 1992 г. приток фосфора со снёжкой вследствие снижения количества нерестующей в озере нерки резко сократился. В 1999–2004 годах концентрация фосфатов в слое 0–50 м опустилась ниже среднееголетнего уровня 0,035 мг Р/л. Межгодовые изменения содержания минерального фосфора в этот период, по-видимому, в большей степени определялись колебаниями поверхностного и грунтового стока.

В 1999–2004 годах аммонийный и нитратный азот, железо и кремний содержались в озере в достаточном количестве и, вероятно, не лимитировали развитие фитопланктона. Доминирующей формой азота в этот период являлся аммоний. Его содержание в озёрной воде составляло в среднем 67% от суммы минеральных форм азота. Сезонная динамика минеральных форм азота, железа и кремния определялась в основном динамикой развития фитопланктона и гидрологическими процессами в озере.

Концентрация нитратного азота в озере в этот период превышала уровень 1970 г., но была значительно ниже этого показателя в период максимальных подходов нерки на нерест (1937–1948 гг.), что, по-видимому, связано с динамикой нерестовых подходов нерки в оз. Дальнее. Содержание других соединений азота (аммония и нитритов), кремния и железа в озерной воде было достаточно стабильным и не претерпело существенных многолетних изменений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают огромную благодарность старшему научному сотруднику. Л.В. Миловской за ценные советы при написании работы, всем сотрудникам Паратунской экспериментальной лаборатории, принимавшим участие в сборе и доставке гидрохимических проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А., Семёнов А.Д., Скопинцев Б.А. 1973. Руководство по химическому анализу вод суши // Л.: Гидрометеиздат, 269 с.
- Кизеветтер И.В. 1948. Об изменениях химического состава тела красной (нерки) // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 28. С. 29–42.

- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В.* 1969. Сообщество пелагических рыб озера Дальнего // Л.: Наука, 86 с.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В.* 1987. Тихоокеанский лосось (нерка) в экосистеме оз. Дальнего (Камчатка) // Л.: Наука, 200 с.
- Крохин Е.М.* 1948. Паратунские озера (гидрология, гидрография, биологи). Дис. ... докт. географ. наук. М.: Ин-т географии АН СССР, 286 с.
- Крохин Е.М.* 1957. Источники обогащения нерестовых озер биогенными элементами // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 45. С. 29–55.
- Крохин Е.М.* 1959. О влиянии количества отнерестовавших в озере производителей красной на режим биогенных элементов // ДАН АН СССР. Т. 128. № 3. С. 626–627.
- Крохин Е.М.* 1967. Влияние размеров пропуска производителей красной на фосфатный режим нерестовых озер // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 57. С. 31–54.
- Павельева Е.Б.* 1974. Начальные звенья продукционного процесса и их утилизация в оз. Дальнем // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 24 с.
- Павельева Е.Б.* 1984. Уровень трофии оз. Дальнего (Камчатка) в 70-х годах // Биол. ресурсы внутр. водоёмов Сибири и Дальнего Востока. М. С. 189–198.
- Погодаев Е.Г.* 2002. Состояние экосистемы оз. Дальнего (прошлое, настоящее, будущее). Фосфатный режим. Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана // Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. VI. С. 291–295.
- Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Михайловский Ю.А., Уколова Т.К., Свириденко В.Д.* 2002. Гидрохимические особенности озера Курильского // Водные ресурсы. Т. 29. № 4. С. 468–475.
- Семенов А.Д., Семенова И.М., Курапцева Р.Н., Крогиус Ф.В., Крохин Е.М.* 1973. Соединения биогенных элементов и органические вещества в воде оз. Дальнего // Гидрохим. материалы. Т. 49. С. 69–81.
- Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б., Васильева М.И.* 1974. Особенности первичной продукции лососевого озера // Журн. общ. биол. Т. 35. № 5. С. 746–755.
- Ricker W.E.* 1937. Physical and chemical characteristics of Cultus Lake. British Columbia // J. Biol. Boad Can. V. 3. P. 363–402.