

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ МОЛОДИ НЕРКИ
В ПЕЛАГИАЛИ ОЗЕРА БЛИЖНЕЕ (КАМЧАТКА)**

Н.М. Вецлер, В.Д. Свириденко

*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(КамчатНИРО), Набережная 18, Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия.
E-mail: vetsler@kamniro.ru*

Представлены результаты гидрохимического мониторинга нерестово-нагульного водоёма нерки – оз. Ближнего. Установлено, что, несмотря на близость расположения озера к населённому пункту, условия естественного режима его функционирования в 2000–2013 гг. не нарушены. Отмечены значительные межгодовые и сезонные колебания концентрации биогенных элементов, что связано с поступлением их со стоком и после минерализации отнерестовавшей нерки, а также с динамикой внутриводоёмных процессов.

**THE AMBIENT HYDROCHEMICAL CONDITIONS FOR JUVENILE SOCKEYE
SALMON IN THE PELAGIC ZONE OF BLIZHNEYE LAKE, KAMCHATKA**

N.M. Vetsler, V.D. Sviridenko

*Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO),
18 Naberejnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia E-mail: vetsler@kamniro.ru*

The hydrochemical monitoring of the sockeye salmon spawning-nursery lake Blizhneye was performed. The lake natural regime was established to be undisturbed despite closeness of the lake to a settlement. Significant seasonal and interannual fluctuations were observed in concentration of biogenic elements that was in connection with their delivery with drainage water and from sockeye salmon carcasses, as well as with the inner lake dynamics.

Озеро Ближнее находится на юго-востоке Камчатского п-ва и является нерестово-нагульным водоёмом, в котором воспроизводится небольшое по численности стадо тихоокеанского лосося – *Oncorhynchus nerka* Walb. Изучение популяции нерки и экосистемы оз. Ближнее было начато Е.М. Крохиным и Ф.В. Крогиус в 30-е годы прошлого столетия. Однако гидрохимические исследования на этом водоёме не всегда были регулярными, а результаты этих работ отражены в небольшом количестве публикаций (Крохин, 1948; 1957; 1967). В течение более 20 лет (1976–1998 гг.) наблюдения за химическим составом воды в озере совсем не проводили, и вновь круглогодичный гидрохимический мониторинг оз. Ближнее был возобновлен только в 2000 г. (Вецлер и др., 2008; Уколова, Свириденко, 2009). Цель настоящей работы – обобщение и анализ результатов исследований гидрохимического режима озера в 2000–2013 гг. Актуальность данных исследований обусловлена не только необходимостью изучения условий обитания молоди нерки, но и наблюдений за деструктивным влиянием разного рода человеческой деятельности на нерестово-нагульный водоём, расположенный вблизи населённого пункта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили данные круглогодичных наблюдений, выполненных на постоянной станции, расположенной в центральной глубоководной части пелагиали озера. Отбор проб воды проводили на горизонтах 0, 5, 10, 20 и 30 м при помощи опрокидывающегося батометра Нансена. Мониторинг гидрохимического режима включал исследования содержания кремния, общего железа минеральных форм фосфора и азота (аммония, нитритов и нитратов). Концентрацию этих биогенных элементов определяли стандартными методами, согласно «Руководству по химическому анализу вод суши» (Алекин и др., 1973). Начиная с 2005 г., число определяемых гидрохимических параметров дополнили общим фосфором и азотом, при этом использовали метод Королева и Вальдерамма (Справочник гидрохимика, 1991). Органический фосфор и азот рассчитывали по разности между содержанием валовых и минеральных форм. Анализ биогенных элементов проводили по средневзвешенным величинам, рассчитанным для слоя 0–30 м. В течение 2000–2013 гг. было собрано и обработано 1060 гидрохимических проб.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биогенные элементы, при наличии других благоприятных факторов среды, обеспечивают развитие жизни в водоёме и определяют его биологическую продуктивность в целом.

Железо – один из наиболее распространенных элементов в природных водах, влияющих на интенсивность развития фитопланктона. Поступление его соединений в водоёмы связано с процессами химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. (Справочник..., 1989).

Уровень железа в оз. Ближнее имеет сезонный характер. По среднемноголетним данным средневзвешанное его содержание в слое 0–30 м в течение года изменяется от следовых величин до 0,11 мг/л. Максимум концентрации железа во всех слоях озера приходится на весеннее время и связан с процессами перемешивания водных масс и поступления паводковых вод. Заметное повышение содержания железа в слое 0–30 м происходит и в период осенней циркуляции (ноябрь), при этом его концентрация снижается у дна и возрастает в поверхностном слое (рис. 1).

Наибольшее количество железа накапливается в нижних слоях озера, где его содержание с мая по декабрь варьирует в пределах 0,07–0,13 мг/л. В летний период, в результате интенсивного потребления фитопланктоном, уровень железа в придонном слое и во всей водной массе резко снижается. Повышение концентрации на глубине 30 м в сентябре–октябре, вероятно, происходит за счёт поступления железа с поверхностным и

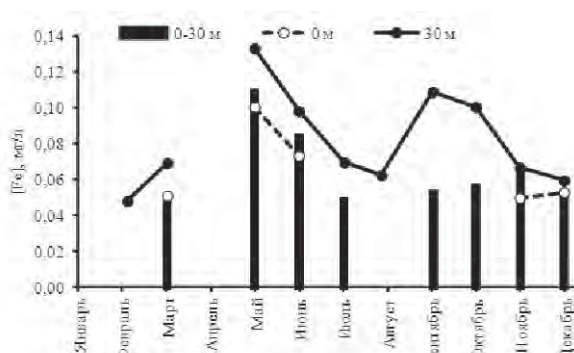


Рис. 1. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации железа (Fe) в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

грунтовыми стоками во время осенних паводков. Средневзвешанное содержание его в слое 0–30 м в этот период возрастает до 0,05–0,06 мг/л. Подо льдом железо во всех слоях озера содержится в минимальных количествах (см. рис. 1).

Среднемноголетнее содержание железа в воде оз. Ближнее составляет 0,06 мг/л (2000–2013 гг.). Первая половина 2000-х годов характеризуется постоянным присутствием этого биогенного элемента в слое 0–30 м в количествах превышающих следовую концентрацию. В межго-

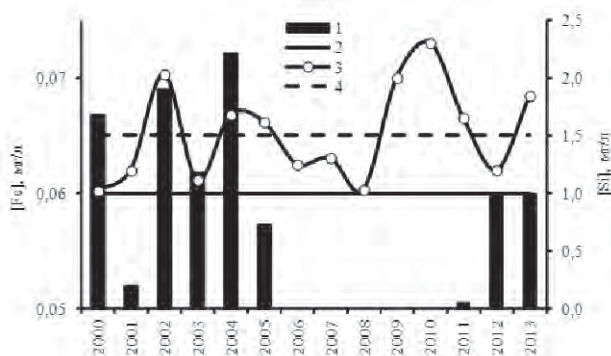


Рис. 2. Межгодовые изменения концентрации железа (1) и кремния (3) в слое 0–30 м и их среднееголетние значения (2 и 4, соответственно) в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг

довых колебаниях железа в этот период прослеживается двухлетняя цикличность: в четные годы его содержание выше среднееголетнего значения, в нечетные – ниже или на уровне 0,06 мг/л. Во второй половине 2000-х годов уровень железа в озёрных водах минимален и не превышает следовой концентрации. В последние три года (2011–2013 гг.) исследуемого периода вновь происходит рост содержания железа, но его уровень в слое 0–30 м не превышает среднееголетней величины (рис. 2).

Кремний. Главным источником соединений кремния в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения кремнесодержащих пород и минералов, органических скелетов животных и продукты отмирания наземных и водных растительных организмов (Справочник..., 1989).

Сезонные колебания концентрации кремния тесно связаны с динамикой фитопланктона и поступления паводковых вод. В июне–июле содержание этого биогенного элемента в озерных водах, вследствие потребления, резко снижается во всех слоях водоёма и достигает минимума – в конце года, после осеннего «цветения» водорослей. Максимум концентрации кремния (1,9 мг/л) в поверхностном слое приходится на март, когда развитие водорослей в озере минимально. В мае, при весенней циркуляции водных масс и поступлении паводковых вод, уровень кремния снижается у дна и возрастает в верхних слоях озера и во всей водной толще (слой 0–30 м). В сентябре, при обеднении эпилимниальных вод, его количество в поверхностном слое уменьшается до 1,2 мг/л. Наиболее богаты биогенными элементами придонные слои, где концентрация кремния в течение года составляет

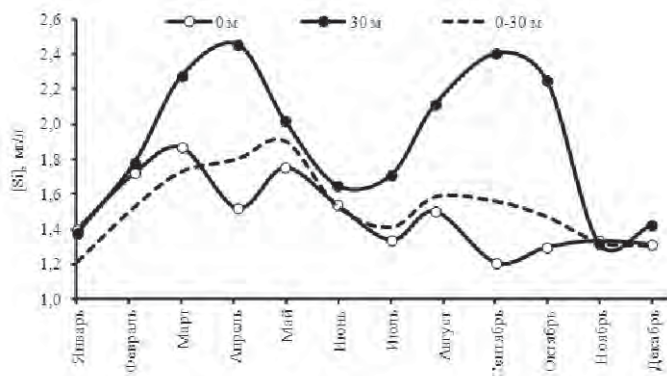


Рис. 3. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации кремния (Si) в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

1,3–2,5 мг/л. Наибольшее его накопление у дна происходит подо льдом, в конце лета и осенью (рис. 3).

Воды оз. Ближнее характеризуются повышенным содержанием кремния. По среднееголетним данным его концентрация в слое 0–30 м в 2000–2013 гг. варьирует в пределах 1,0–2,3 мг/л и, в среднем, составляет 1,5 мг/л (рис. 2). Наиболее высокое содержание кремния в озерных водах отмечено в 2009–2010 гг., что, вероятно, связано с особенностями гидрологического режима озера в эти годы.

Так 2009 г. относится к ряду многоводных лет с аномально высоким повышением уровня воды в начале лета, а, следовательно, и с большим притоком кремния с весенними паводковыми водами. Содержание этого биогенного элемента в паводковый период в поверхностных слоях озера достигает максимальной

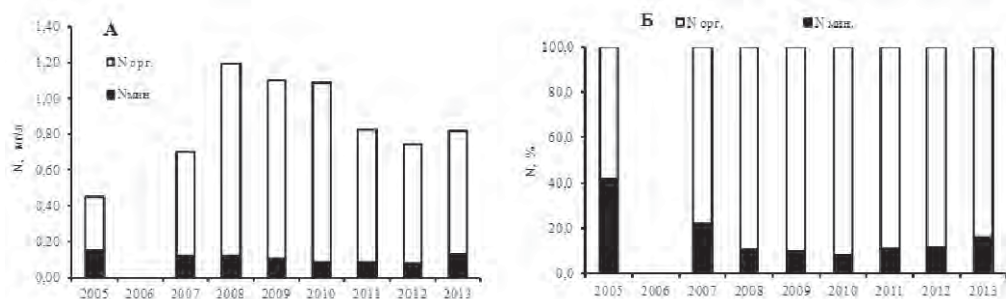


Рис. 4. Межгодовые изменения концентрации (А) и соотношения органической (N орг.) и минеральной (N мин.) форм азота (Б) в пелагиали оз. Ближнее в 2005, 2007–2013 гг.

величины (3,6 мг/л, при среднемноголетнем значении 1,3 мг/л). Вследствие слабого развития фитопланктона (33 тыс. кл./л при среднемноголетней численности 130 тыс. кл./л), высокий уровень кремния в озерных водах отмечен и во вторую половину года, а процессы его накопления подо льдом обеспечивают максимум концентрации в 2010 г. (рис. 2).

Азот. Средняя концентрация общего азота в природных водах колеблется в значительных пределах и зависит от трофности водного объекта (Зенин, Белоусова, 1988). В оз. Ближнее количество валового азота в слое 0–30 м составляет 0,45–1,19 мг N/л при среднемноголетнем (за 2005–2013 гг.) содержании 0,86 мг N/л, что соответствует уровню мезотрофного водоёма. Количество минерального азота не превышает 0,15 мг N/л, и составляет 8–42 % от концентрации общего азота (рис. 4).

Минеральный азот содержится в озерной воде в трех формах: аммонийной, нитритной и нитратной, являющимися последовательными стадиями окисления. Присутствие в незагрязненных поверхностных водах ионов аммония связано с процессами биохимической деградации белковых веществ, дезаминирования аминокислот, разложения мочевины под действием уреазы (Справочник..., 1989). Содержание аммонийного азота в нерковых озёрах определяется целым рядом факторов: количеством зашедших на нерест рыб-производителей, величиной стока, интенсивностью процессов аммонификации азотсодержащих соединений, поступлением аммония в результате прижизненных выделений гидробионтов и потреблением его фитопланктоном. Сезонное распределение аммония регулируется процессами аммонификации и нитрификации.

Повышение содержания этого биогенного элемента в слое 0–30 м в оз. Ближнее происходит, в основном, осенью и достигает максимума в декабре (0,168 мг N/л), что связано с минерализацией органического вещества снёнки и диффузией аммония из донных отложений. Низкие концентрации аммонийного азота в озёрной воде приходятся на зимние месяцы и позднелетний период. Минимальный уровень в слое 0–30 м и у поверхности отмечен в августе, когда эпилимниальные воды истощены биогенными элементами, а приток аммония со стоком сокращается до минимума. Равномерное распределение аммония в озёрных водах определяет синхронный характер изменений его концентраций в придонном и поверхностном горизонтах и в слое 0–30 м в первую половину года. В периоды весеннего и осеннего «цветения» водоёма количество аммонийного азота, вероятно, за счёт его потребления фитопланктоном резко снижается в поверхностном слое и накапливается у дна. Максимум концентрации аммония в придонном слое приходится на июль и достигает 0,190 мг N/л (рис. 5).

Присутствие нитратов в воде связано с их поступлением с поверхностным и грунтовыми стоками и с процессами нитрификации аммонийных ионов в аэробных условиях под действием нитрифицирующих бактерий. Главным процессом, направленным на понижение содержания нитратного азота, является потребление его фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород ни-

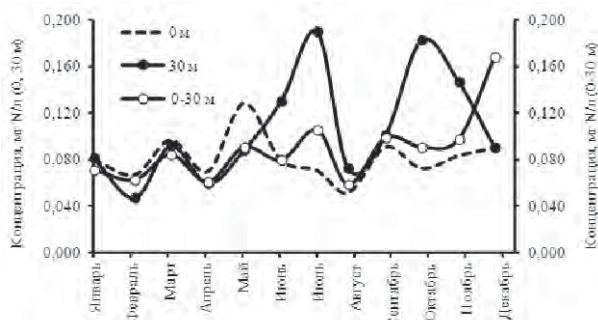


Рис. 5. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации аммонийного азота в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

нитратного азота прослеживается во всех слоях озера. В поверхностном слое его количество снижается до следовых величин в период интенсивной вегетации фитопланктона, немного возрастает осенью и достигает максимума в подледный период (0,04–0,05 мг N/л). Диапазон изменений концентрации нитратного азота на глубине 30 м в течение года составляет 0,01–0,06 мг N/л. Наибольшее его содержание в этом слое также, в основном, приходится на зимний период. Максимум концентрации нитратов в августе при минимальном содержании аммония, вероятно, связан с деструкцией органического вещества, образовавшегося в результате отмирания планктонных организмов, закончивших цикл

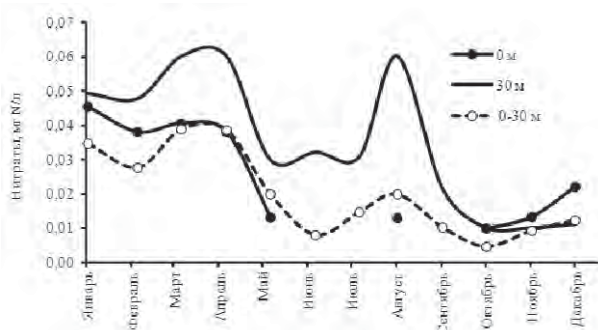


Рис. 6. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации нитратного азота в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

своего развития. Снижение количества нитратного азота на глубине 30 м происходит в мае–июле и осенью и обусловлено циркуляционными процессами и потреблением его фитопланктоном (рис. 6). Нитриты представляют собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов и содержатся в озере в небольшом количестве, что объясняется большой скоростью нитрификационных процессов. По среднееголетним данным средневзвешанная концентрация нитритного азота в слое 0–30 м в течение года варьирует в пределах 0,001–0,004 мг N/л. Сезонные колебания его концентрации, в основном, аналогичны изменениям содержания аммония и характеризуются увеличением количества весной и в подледный период (рис. 7). Повышенное содержание нитритов в озёрных водах указывает на усиление процессов разложения органических веществ (Зенин, Белоусова, 1988).

В 2000–2013 гг. преобладающей формой азота в озере является аммоний, концентрация которого в слое 0–30 м, в среднем, составляет 0,088 мг N/л или 77,2 % всего минерального азота. Максимумом содержания аммонийного азота в 2004 г. (0,146 мг N/л), вероятно, связан с его образованием при минерализации органического вещества, поступившего с отнерестовавшей неркой в 2003 г. (рис. 8).

тратов на окисление органических веществ (Зенин, Белоусова, 1988).

Концентрация нитратного азота в озёрных водах подвержена заметным сезонным колебаниям. В период разложения органических веществ и перехода азота в минеральные формы при минимальном его потреблении (январь–апрель) средневзвешанное содержание нитратов в слое 0–30 м варьирует в пределах 0,03–0,04 мг N/л и не превышает 0,02 мг N/л с июня по декабрь. Аналогичный характер сезонных изменений концентрации

нитратного азота прослеживается во всех слоях озера. В поверхностном слое его количество снижается до следовых величин в период интенсивной вегетации фитопланктона, немного возрастает осенью и достигает максимума в подледный период (0,04–0,05 мг N/л). Диапазон изменений концентрации нитратного азота на глубине 30 м в течение года составляет 0,01–0,06 мг N/л. Наибольшее его содержание в этом слое также, в основном, приходится на зимний период. Максимум концентрации нитратов в августе при минимальном содержании аммония, вероятно, связан с деструкцией органического вещества, образовавшегося в результате отмирания планктонных организмов, закончивших цикл своего развития. Снижение количества нитратного азота на глубине 30 м происходит в мае–июле и осенью и обусловлено циркуляционными процессами и потреблением его фитопланктоном (рис. 6).

Нитриты представляют собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов и содержатся в озере в небольшом количестве, что объясняется большой скоростью нитрификационных процессов. По среднееголетним данным средневзвешанная концентрация нитритного азота в слое 0–30 м в течение года варьирует в

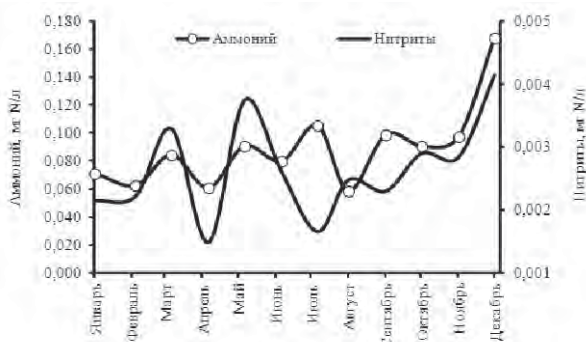


Рис. 7. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации нитритного и аммонийного азота в слое 0–30 м в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

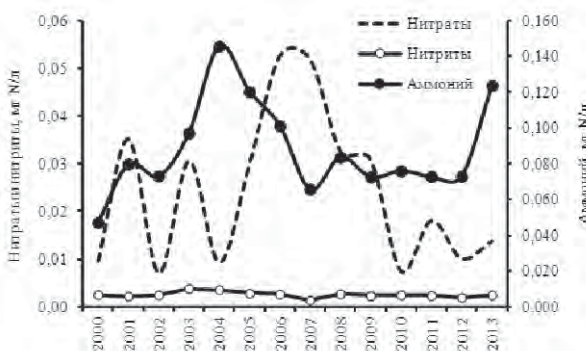


Рис. 8. Межгодовые изменения концентрации минеральных форм азота в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

Максимальное его накопление отмечено в осенние месяцы (сентябрь–октябрь), что, вероятно, связано с поступлением фосфатов в водоём после разложения тел отнерестовавшей нерки и со стоковыми водами во время осенних паводков. При весеннем перемешивании озёрных вод содержание минерального фосфора в придонных слоях значительно пони-

Содержание нитратов в озерных водах варьирует в небольших пределах: от 0,01 до 0,05 мг N/л и составляет 20,4 % от суммы минеральных форм азота. Межгодовые колебания концентрации нитритного азота не превышают тысячной доли мг и, в среднем, равны 0,003 мг N/л или 2,4 % от всего минерального азота (рис. 8).

Фосфор. Источниками фосфора в озере являются внутриводоёмные процессы и поступление его с половозрелой неркой, поверхностным и грунтовым стоками (Крохин, 1957, 1967).

Общий фосфор содержится в воде озера в количестве 0,025–0,063 мг P/л, что характеризует оз. Ближнее как незагрязненный природный водоём. Основная часть фосфора представлена органическими соединениями (0,024 мг P/л), на минеральную форму приходится от 33 до 56 % или, в среднем, 0,012 мг P/л (рис. 9).

Наибольшее количество фосфатов аккумулируется в придонных слоях водоёма. По среднееголетним данным за 2000–2013 гг. диапазон изменений содержания минерального фосфора на глубине 30 м составляет 0,011–0,026 мг P/л.

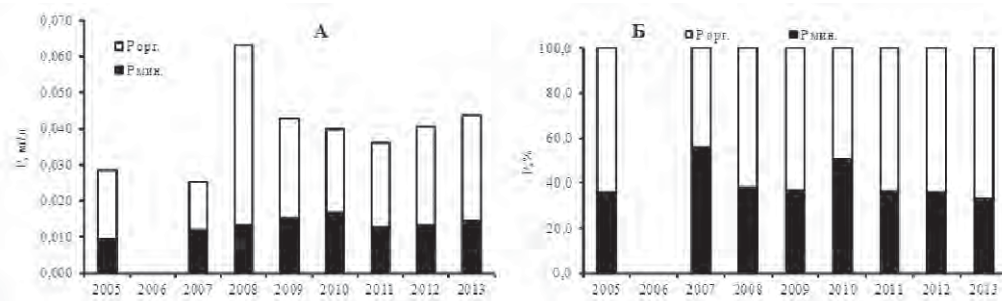


Рис. 9. Межгодовые изменения концентрации (А) и соотношения органической (Р орг.) и минеральной (Р мин.) форм фосфора (Б) в пелагиали оз. Ближнее в 2005, 2007–2013 гг.

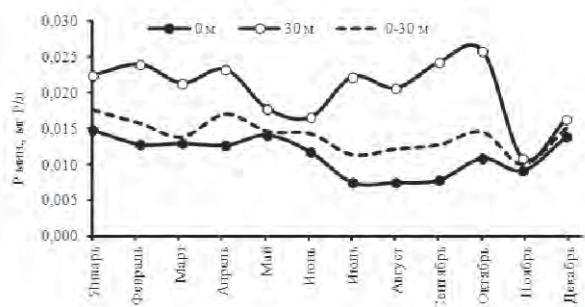


Рис. 10. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации минерального фосфора (Р мин) в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

поверхностном слое снижается до минимума (рис. 10).

Сравнительный анализ изменений содержания минерального фосфора в 2000–2013 гг. показывает, что его количество в слое 0–30 м достаточно стабильно: межгодовые колебания его концентрации происходят в диапазоне 0,010–0,017 мг Р/л но, в основном, находятся ниже среднемноголетнего показателя, равного 0,014 мг Р/л. В придонном

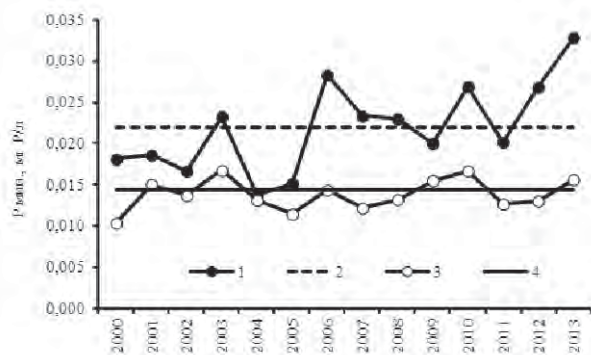


Рис. 11. Межгодовые изменения концентрации минерального фосфора (Р мин) в придонном слое (1) и 0–30 м (3) и их среднемноголетние значения (2 и 4, соответственно) в пелагиали оз. Ближнее в 2000–2013 гг.

слое уровень фосфатов в первую половину 2000-х гг. не превышает 0,018 мг Р/л, в 2006–2013 гг. – прослеживается тенденция его роста. Максимум содержания минерального фосфора в придонном слое отмечен в 2013 г. (0,033 мг Р/л) (рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрохимический режим оз. Ближнее, в основном, формируется за счет притока биогенных элементов с поверхностным и грунтовым стоками и поступления их после минерализации отнерестовавшей нерки. Несмотря на близость расположения водоёма к населённому пункту, условия естественного режима его функционирования не нарушены. Средняя концентрация общего фосфора в слое 0–30 м (0,036 мг Р/л) соответствует его уровню в незагрязненных природных водах. На минеральную форму, в среднем, приходится 41 % от валового фосфора. Содержание фосфатов в слое 0–30 м достаточно стабильно: межгодовые колебания его концентрации в 2000–2013 гг. происходят в узком диапазоне величин и не превышают 0,017 мг Р/л. Тенденция увеличения содержания минерального фосфора прослеживается только в придонном слое.

Средняя концентрация общего азота в слое 0–30 м соответствует уровню мезотрофного водоёма (0,86 мг N/л). Содержание минеральных форм составляет 16 % от концентрации общего азота. Доминирующей формой является аммоний, на его долю приходится, в среднем, 77,2 %, на нитраты – всего 20,4 % всего минерального азота. Межгодовые

жается (май–июнь) и достигает минимума после осенней циркуляции водоёма (ноябрь) (рис 10).

Максимальное содержание минерального фосфора во всей толще воды (слой 0–30 м) и в поверхностном слое отмечено подо льдом (декабрь–май) – в период обогащения озерных вод фосфором от минерализации снётки и наименьшего развития водорослей в водоёме. Падение концентрации фосфатов происходит в летние месяцы и в ноябре при интенсивном их потреблении фитопланктоном. В период летней стратификации количество минерального фосфора в

колебания концентрации нитритного азота не превышают тысячной доли мг и, в среднем, равны 2,4 % от суммы минеральных форм азота.

В содержании кремния и железа в воде озера в 2000–2013 гг. отмечены значительные межгодовые колебания. Максимальный уровень железа в первой половине 2000-х гг. заменяет минимальный – во второй половине 2000-х гг. В последние три года (2011–2013 гг.) происходит рост содержания железа, но его количество в слое 0–30 м не превышает 0,06 мг/л.

Среднегодовалая концентрация кремния составляет 1,5 мг/л. Наиболее высокое его содержание, равное 2,0–2,3 мг/л отмечено в 2009–2010 гг.

Сезонные изменения гидрохимического режима водоёма, в основном, регулируются потреблением биогенных элементов фитопланктоном и поступлением их из бентали озера при циркуляции водных масс и со стоковыми водами. Наибольшее количество минерального фосфора и нитратов в озёрных водах отмечено подо льдом, железа и кремния – в периоды перемешивания и поступления паводковых вод. Уровень аммония и нитритов повышается осенью и достигает максимума в декабре, что, вероятно, связано с минерализацией органического вещества снёлки. Снижение концентрации биогенных элементов происходит во время активной вегетации водорослей.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О.А., Семёнов А.Д., Скопинцев Б.А. 1973.** Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат. 269 с.
- Вецлер Н.М., Т.К. Уколова, В.Д. Свириденко. 2008.** Сравнительная характеристика гидрохимического режима Паратунских озёр // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 10. Петропавловск-Камчатский. С. 5–12.
- Зенин А.А., Белоусова Н.В. 1988.** Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 239 с.
- Крохин Е.М. 1948.** Паратунские озера (докторская диссертация) // Петропавловск-Камчатский: Камчатское отд. ТИНРО. 286 с.
- Крохин Е.М. 1957.** Источники обогащения нерестовых озёр биогенными элементами // Изв. Тихоокеан. научно-исслед. рыбохоз. центра. Т. 45. С. 29–35.
- Крохин Е.М. 1967.** Влияние размеров пропуска производителей красной на фосфатный режим нерестовых озёр // Изв. Тихоокеан. научно-исслед. рыбохоз. центра. Т. 57. С. 31–54.
- Справочник гидрохимика. 1991.** Под ред. В.В. Сапожникова. М.: Агропромиздат. 224 с.
- Справочник по гидрохимии. 1989.** Под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат. С. 390.
- Уколова Т.К., Свириденко В.Д. 2009.** Содержание форм фосфора и азота в озёрах Дальнем и Ближнем (Восточная Камчатка) в 2005–2008 гг. // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: матер. X междунар. науч. конф. Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс. С. 129–131.