УДК 639.312:631.8

DOI 10.15853/2072-8212.2016.40.78-86

# БИОГЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА САРАННОГО (ОСТРОВ БЕРИНГА, КОМАНДОРЫ) В 2001–2012 ГГ.

Н.М. Вецлер, В.Д. Свириденко



Вед. н. с., канд. биол. наук; инж.; Камчатский научно-исследовательский институт

рыбного хозяйства и океанографии

683003 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18 Тел., факс: (4152) 41-27-01. E-mail: vetsler@kamniro.ru

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ОЗЕРО САРАННОЕ, ОСТРОВ БЕРИНГА, КОМАНДОРЫ

Впервые представлены результаты гидрохимического мониторинга оз. Саранного, расположенного на о. Беринга и являющегося нерестово-нагульным водоемом для лососевых рыб. Отмечены значительные межгодовые и сезонные колебания концентрации биогенных элементов, что связано с поступлением их после минерализации отнерестовавшей нерки и с поверхностным стоком, а также с динамикой внутриводоемных процессов. Установлено, что максимальное накопление всех ингредиентов в водной толще происходит подо льдом, снижение содержания — в безледный период при интенсивной вегетации диатомовых и синезеленых водорослей. Наибольшее количество биогенных элементов в зимнее время аккумулируется в придонных слоях озера; при отсутствии льда в условиях постоянного ветрового перемешивания водоема их распределение по вертикали, в основном, носит однородный характер. К особенностям гидрохимического режима водоема в 2001–2012 гг. относится высокое содержание минерального фосфора, аммония и кремния и очень низкое — нитратов.

## BIOGENOUS REGIME OF THE LAKE SARANNOYE (BERING ISLAND, THE COMMANDER ISLANDS) IN 2001–2012

N.M. Vetsler, V.D. Sviridenko

Leading scientist, Ph. D.; engineer; Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography 683003 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberedzhnaya, 18 Tel., fax: (4152) 41-27-01. E-mail: vetsler@kamniro.ru

 $HYDROCHEMICAL\ REGIME,\ BIOGENIC\ SUBSTANCES,\ SARANNOYE\ LAKE,\ BERING\ ISLAND,\ COMMANDER\ ISLANDS$ 

It is the first time when results of hydrochemical monitoring of the Lake Sarannoye, spawning and nursery water body of salmonids on the Bering Island, are demonstrated. Significant year-to-year and seasonal fluctuations in the consentrations of biogenic substances are shown and explained as effects of emission from mineralized carcasses of postspawned sockeye salmon, surface draining and dynamic processes within the lake. It is found that the maximal deposition of the biogenic substances takes place in the water column under the ice, and the stock deposited gets less during the ice-free period, when diatoms and blue-green algae have intense growth. In winter the maximal number of the biogenic substances can be found in the demersal part of the lake; in the ice-free condition and in case of permanent winds the vertical distribution of the substances is generally homogenous. The specifics of the hydrological regime of the lake in 2001–2012 consists of a high concentration of mineral phosphorous, ammonia and silicon and of a low concentration of nitrates.

Командорские о-ва находятся в северной части Тихого океана, ограничивая с юга Берингово море, на расстоянии примерно 175 км к востоку от Камчатки, и являются западной оконечностью Алеутской островной дуги (Пономарева, Исаченкова, 1991). Основу Командорского архипелага составляет остров Беринга. Озеро Саранное — самое крупное из расположенных на острове: его длина равна 7,8 км, средняя ширина — 4,6 км, максимальная глубина — 32,5 м (рис. 1). Современная геоморфометрическая характеристика озера получена на основании эхолотных съемок, проведенных в 2002 г. (Погодаев и др., 2012). Водоем имеет рыбохозяйственное значение, являясь нерестовонагульным для тихоокеанских лососей — нерки

(Oncorhynchus nerka Walb.) и кижуча анадромной (O. kisutch Walb.) и жилой формы (Oncorhynchus kisutch morpha relictus Dvinin), а также мальмы (Salvelinus malma Walb.) (Куренков, 1970; Бугаев, Кириченко, 2008; Малютина и др., 2014).

В связи с труднодоступностью озера, его гидрохимический режим ранее был изучен недостаточно. Результаты одноразового наблюдения, выполненного Е.М. Крохиным в сентябре 1964 г., представлены в работе С.И. Куренкова (1970). Эпизодические (один-два раза в летне-осенние месяцы) гидрохимические исследования в 1990-е гг. проводили сотрудники лаборатории мониторинга озерных экосистем КамчатНИРО, но результаты не были опубликованы. Начиная с 2001 г., матери-



Рис. 1. Вид о. Беринга из космоса (https://ru.wikipedia.org) Fig. 1. The Bering Island from space (https://ru.wikipedia.org)

ал стали отбирать более регулярно, охватывая, по возможности, все сезоны года. Цель настоящей работы — систематизировать многолетние данные и охарактеризовать гидрохимические условия в пелагиали оз. Саранного.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили результаты обработки гидрохимических проб, собранных в водоеме в 2001–2012 гг. Отбор воды для анализа проводили на постоянной станции, расположенной в северо-западной глубоководной части озера (красный буй) на горизонтах 0, 5, 10, 20 и 30 м при помощи опрокидывающегося батометра. В 2001–2002 гг. материал собирали в центральной части водоема на горизонтах 0, 5 и 10 м (рис. 2). Мониторинг гидрохимического режима включал исследования содержания кремния, общего железа, минеральных форм фосфора и азота (аммония, нитритов и нитратов). Концентрацию биогенных элементов определяли стандартными

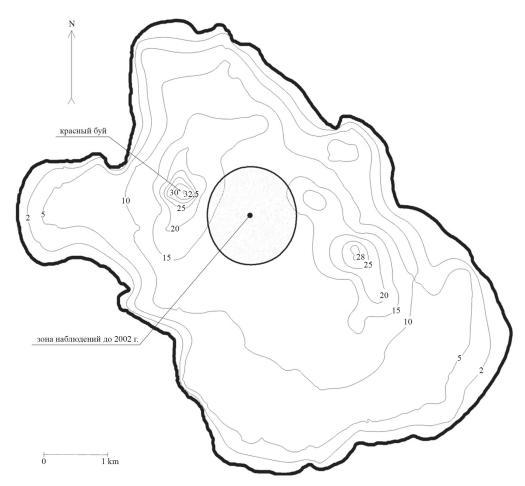


Рис. 2. Батиметрическая карта оз. Саранного и схема расположения станций в 2001–2012 гг. Fig. 2. The bathymetric map of the Lake Sarannoye and the scheme of distribution of sampling stations in 2001–2012

методами, согласно «Руководству по химическому анализу вод суши» (Алекин и др., 1973). Минимальное содержание железа, определяемое применяемым методом, составляет 0,05 мг Fe/л. Следовые количества для нитритов соответствуют концентрации менее 0,0005 мг N/л, нитратов — ниже 0,01 мг N/л, фосфатов — 0,003 мг Р/л, кремния — 0,1 мг Si/л. Анализ содержания биогенных элементов проводили по средневзвешенным величинам, рассчитанным для эвфотического слоя (0–10 м) и для всей водной толщи (слой 0–30 м). Среднегодовые показатели включали данные за весь календарный год. Всего было собрано и обработано 570 гидрохимических проб воды.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биогенные элементы обеспечивают, при наличии других благоприятных факторов среды, синтез органического вещества в водоеме (Алимов, 1989; Алимов и др., 2013) и, в значительной мере, определяют качественный состав организмов (Гутельмахер, 1983; Finflay et al., 1999).

**Фосфор.** Основными источниками поступления фосфора в лососевые водоемы являются поверхностный сток и тела отнерестовавших рыб (Крохин, 1957, 1959, 1967).

Максимальное повышение концентрации фосфатов во всей толще воды в оз. Саранном происходило в подледный период при обогащении озера фосфором от минерализации сненки, снижение — в летне-осенние месяцы при интенсивной вегетации диатомовых и синезеленых водорослей.

Наибольшее количество минерального фосфора аккумулировалось в придонных слоях водоема. По среднемноголетним данным, диапазон колебаний его содержания на глубине 30 м составлял 0,020-0,114 мг Р/л. Максимум концентрации фосфатов у дна и в слое 0-30 м (0,060 мг Р/л) приходился на март. В мае при весенней циркуляции содержание минерального фосфора во всех слоях выравнивалось и снижалось до минимума (0,019-0,020 мг P/л). В летние месяцы, при интенсивном потреблении фитопланктоном, его уровень в озерных водах не превышал 0,035 мг Р/л. Увеличение количества фосфатов в водоеме в осенние месяцы (до 0,049 мг Р/л), вероятно, было связано с поступлением фосфора

после разложения тел отнерестовавшей нерки и со стоковыми водами во время осенних паводков (рис. 3).

Таким образом, внутригодовая динамика содержания фосфатов в оз. Саранном имеет типичную картину, наблюдаемую в неглубоких камчатских водоемах и характеризуется накоплением минерального фосфора в водной толще подо льдом и снижением его концентрации в безледный период (Вецлер и др., 2007; Вецлер, Свириденко, 2014).

Гидрологические особенности оз. Саранного (Вецлер, 2015) влияли на распределение биогенных элементов в водной толще. Постоянное ветровое перемешивание водоема приводило к равномерному распределению минерального фосфора по вертикали, что определяло идентичный характер изменений его концентрации во всех слоях озера в безледный период (рис. 3).

Межгодовые колебания содержания фосфатов происходили в широком диапазоне величин, что, очевидно, связано с динамикой нерестовых заходов половозрелой нерки в оз. Саранное. Количество минерального фосфора в эвфотическом слое (0–10 м) в 2001–2012 гг. изменялось от 0,020 до 0,049 мг Р/л. Наибольшее его содержание отмечено в 2007–2011 гг. с максимумом концентрации в 2008 г. Уровень минерального фосфора в слое 0–10 м в 2001–2006 и 2012 гг. находился ниже среднемноголетнего показателя, равного 0,033 мг Р/л. Концентрация фосфатов во всей толще воды (слой 0–30 м) в 2003–2012 гг. варьировала в пределах 0,035–0,073 мг Р/л и, за исключением 2008 г., не

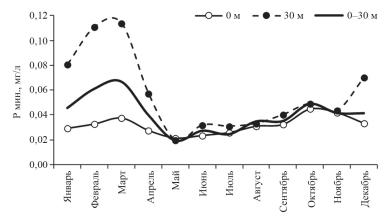


Рис. 3. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации минерального фосфора (Р мин.) в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг.

Fig. 3. The seasonal dynamics of the average annual concentrations of mineral phosphorous (P min.) in the surface (0 m) and demersal (30 m) layers and within the pelagic layer 0–30 m in the Lake Sarannoye for 2001–2012

превышала среднемноголетний уровень, равный 0,043 мг Р/л (рис. 4).

Азот. Минеральный азот содержится в озерной воде в трех формах: аммонийной, нитритной и нитратной, являющихся последовательными стадиями его окисления. Аммоний образуется при минерализации органических веществ, находящихся в толще воды и донных отложениях, а также поступает в водоем со стоком и в результате жизнедеятельности гидробионтов. Сезонное распределение аммонийного азота регулируется процессами аммонификации и нитрификации (Зенин, Белоусова, 1988).

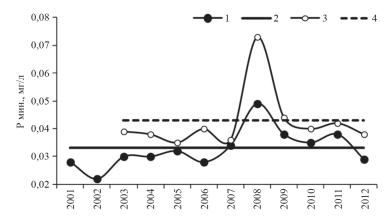


Рис. 4. Межгодовые изменения концентрации минерального фосфора (Р мин.) в слоях 0–10 (1) и 0–30 м (3) и их среднемноголетние значения (2 и 4 соответственно) в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг.

Fig. 4. The interannual dynamics of the concentration of mineral phosphorous (P min.) in the layers 0–10 (1) and 0–30 m (3) and the average interannual concentration (respectively 2 and 4) in the pelagic layer of the Lake Sarannoye for 2001–2012

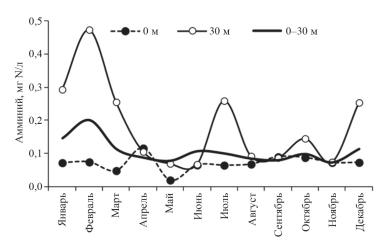


Рис. 5. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации аммонийного азота в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг.

Fig. 5. The seasonal dynamics of the average annual meanings of the concentration of ammonia nitrogen in the surface (0 m) and demersal (30 m) layers and in the pelagic layer 0–30 m in the Lake Sarannoye for 2001–2012

Наибольшее содержание аммония в озерных водах (слой 0–30 м) было отмечено подо льдом, когда повышалась интенсивность процессов аммонификации. Количество аммонийного азота в это время в придонном слое возрастало до 0,254–0,474 мг N/л с максимумом концентрации в феврале (рис. 5).

В летний период процессы разложения органических веществ у дна усиливались в июле, что, вероятно, было связано с отмиранием планктонных организмов после весеннего цветения водорослей и завершением развития первой когорты *Cyclops vicinus* Sars (Вецлер, 2012). Поступление

органических веществ с телами отнерестовавшей нерки приводило к осеннему повышению уровня аммония в придонном слое (0,145 мг N/л). В целом, его содержание в слое 0-30 м в безледный период изменялось незначительно и в среднем составляло 0,090 мг N/л. Наименьшая амплитуда сезонных колебаний концентрации аммонийного азота была отмечена в поверхностном слое: рост его содержания происходил только в апреле, что, очевидно, связано с притоком аммония с паводковыми водами. Наиболее низкий уровень аммонийного азота в верхних горизонтах был приурочен к периоду весенней циркуляции вод (рис. 5).

Нитриты представляют собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов и содержатся в озере в небольшом количестве.

По среднемноголетним данным, средневзвешанное количество нитритного азота в слое 0–30 м в течение года варьировало в пределах 0,001–0,004 мг N/л. Сезонные колебания содержания нитритов, в основном, были аналогичны изменениям концентрации аммония и характеризовались увеличением в подледный период (рис. 6), что указывало на усиление процессов разложения органических веществ в это время (Зенин, Белоусова, 1988).

Нитраты поступают в водоемы с поверхностным и грунтовым стоками и образуются при нитрификации аммонийных ионов в аэробных условиях под действием нитрифицирующих бактерий. Потребление нитратного азота фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями приводит к понижению его концентрации в природных водах (Зенин, Белоусова, 1988).

Присутствие нитратов в воде оз. Саранного было отмечено только подо льдом — в период разложения органических веществ и перехода азота в минеральные формы при минимальном его потреблении фитопланктоном. Средняя концентрация нитратного азота в слое 0–30 м в это время составляла 0,02 мг N/л. В безледный период его уровень в озерных водах снижался до следовых концентраций. Наибольшее количество нитратов содержалось у дна и варьировало с декабря по

апрель в пределах 0,01–0,03 мг N/л. Повышение концентрации окисленной формы азота в придонном слое в подледный период свидетельствовало об отсутствии заморных явлений на глубине 30 м и, вероятно, было связано с притоком грунтовых вод. В поверхностном слое нитраты в течение всего года содержались на уровне следовых концентраций (рис. 7).

Интересный и труднообъяснимый факт увеличения концентрации нитратного азота в придонном слое в подледный период в условиях низкого содержания кислорода неоднократно отмечали в других камчатских водоемах. Похожую картину в вертикальном распределении этой формы минерального азота наблюдали в оз. Дальнем (Вецлер и др., 2006), в Толмачевском водохранилище (Лепская и др., 2009) и в оз. Ближнем (Вецлер, Свириденко, 2014).

Преобладающей формой азота в озере в 2001–2012 гг. являлся аммоний (рис. 8A, 8B), содержание которого в эвфотическом слое, в среднем, составляло 0,077 мг N/л или 96% всего минерального азота. Максимум концентрации аммонийного азота в 2005 г. (0,139 мг N/л), вероятно, связан с образованием его при минерализации органического вещества, поступившего с отнерестовавшей неркой в предшествующем году, что подтверждается значительным повышением уровня нитритов осенью 2004 г. Количество

нитратного азота, за исключением 2008 г., не превышало следовой концентрации (рис. 8A). Среднее содержание нитритов в слое 0–10 м, в среднем, было равно 0,001 мг N/л, или 2% от всего минерального азота.

Количество аммония во всей водной толще, в среднем, составляло 0,108 мг N/л или 93% всего минерального азота. Характер межгодовых колебаний концентрации аммонийного азота в слое 0–30 м (рис. 8В), в основном, был аналогичен изменениям в эвфотическом слое (рис. 8А). Повышение уровня нитратов в озерных водах происходило только в 2004 до 0,01 мг N/л и в 2006 и 2008 гг. — до 0,02 мг N/л. Количество нитритов варьировало в пределах 0,001–0,004 мг N/л (с максимумом концентрации в 2004 г.) (рис. 8В).

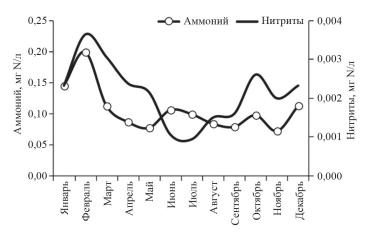


Рис. 6. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации нитритного и аммонийного азота в слое 0–30 м в пелагиали оз. Саранного в 2003–2012 гг.

Fig. 6. The seasonal dynamics of the average annual concentration of nitrite nitrogen in the pelagic layer 0–30 m in the Lake Sarannoye for 2003–2012

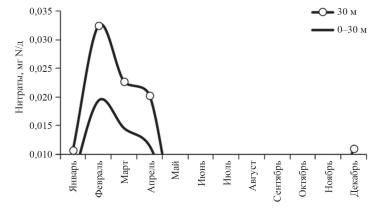


Рис. 7. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации нитратного азота в придонном горизонте (30 м) и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг.

Fig. 7. The seasonal dynamics of the average annual concentration of nitrate nitrogen in the demersal (30 m) and pelagic (0–30 m) layer in the Lake Sarannoye for 2001–2012

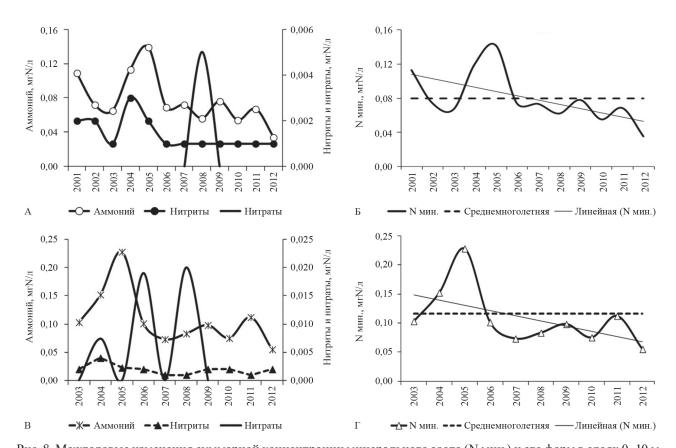


Рис. 8. Межгодовые изменения суммарной концентрации минерального азота (N мин.) и его форм в слоях 0–10 м (A, Б) и 0–30 м (B,  $\Gamma$ ) в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг. Fig. 8. The interannual dynamics of the summary concentration of mineral nitrogen (N min.) and the other forms of nitrogen in the layers 0–10 m (A, Б) and 0–30 m (B,  $\Gamma$ ) in the pelagic layer of the Lake Sarannoye for 2001–2012

В целом, в 2001–2012 гг. прослеживалась тенденция снижения содержания минерального азота в оз. Саранном. После 2005 г. его количество в водоеме резко сократилось, и межгодовые колебания концентрации как в эвфотическом (рис. 8Б), так и в слое 0–30 м (рис. 8Г) стали происходить ниже среднемноголетнего уровня.

**Железо** — один из наиболее распространенных элементов в природных водах, влияющих на интенсивность развития фи-

яющих на интенсивность развития фитопланктона. Поступление его соединений в водоемы связано с процессами химического выветривания горных пород, сопровождающихся их механическим разрушением и растворением (Справочник.., 1989).

По среднемноголетним данным, средневзвешенное содержание железа в слое 0–30 м в течение года изменялось от следовых величин до 0,08 мг/л. Наибольшее его накопление в слое 0–30 м и у дна наблюдали в осенне-зимний период с максимумом концентрации в феврале. В весенне-летнее время содержание желе-

за в озерных водах не превышало следовой величины. Повышение концентрации этого биогенного элемента в поверхностном слое (до 0,07 мг/л) происходило только в октябре, вероятно, за счет его поступления со стоком во время осенних паводков (рис. 9).

Многолетние изменения концентрации железа в эвфотическом слое в основном не превышали

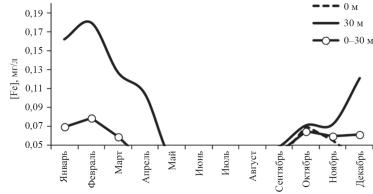


Рис. 9. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации железа (Fe) в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг. Fig. 9. The seasonal dynamics of the average annual concentration of iron (Fe) in the surface (0 м) and demersal (30 m) layers and in the pelagic layer 0–30 m in the Lake Sarannoye in 2001–2012

0,05 мг/л. Повышение его содержания до 0,06 мг/л наблюдали только в 2004 и 2012 гг. (рис. 10).

Межгодовые колебания уровня железа в слое 0–30 м в 2003–2006 гг. происходили в диапазоне 0,05–0,08 мг/л. В 2007–2011 гг. его количество в озере снизилось почти в два раза и не превышало следовой концентрации, вновь рост содержания железа до 0,07 мг/л произошел в 2012 г. (рис. 10).

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. Наибольшее накопление этого биогенного элемента в слое 0–30 м происходило подо льдом. По среднемноголетним данным, максимум его концентрации приходился на апрель и составлял 5,2 мг/л. Наиболее богаты кремнием в подледный

период были придонные слои, где его содержание составляло 3,6-4,2 мг/л (рис. 11).

В безледный период интенсивное ветровое перемешивание озерных вод (Пономарева, Исаченкова, 1991) приводило к равномерному распределению кремния по вертикали и синхронному изменению его концентрации во всех слоях озера. Количество этого биогенного элемента в это время, вследствие потребления, снижалось и достигало минимума в сентябре (3,5 мг/л). Незначительный рост содержания кремния в июле и октябре, вероятно, был связан с поступлением его с паводковыми водами (рис. 11).

Воды оз. Саранного характеризуются высоким содержанием кремния. В 2001—2012 гг. его концентрация в слое 0–10 м изменялась в пределах 2,7–4,7 мг/л и, в среднем, составляла 4,0 мг/л. Повышение уровня кремния в озерных водах происходило в 2001–2002, 2004–2006 гг. и в 2010–2012 гг. В 2003, 2007–2009 гг. его содержание в слое 0–10 м было ниже среднемноголетней величины. Диапазон

изменений концентрации кремния в слое 0–30 м составлял 2,8–5,2 мг/л при среднемноголетнем значении 4,2 мг/л. Динамика колебаний его содержания во всей водной толще, в основном, совпадала с межгодовыми флуктуациями в эвфотическом слое (рис. 12).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Озеро Саранное в 2001–2012 гг. характеризовалось высоким содержанием минерального фосфора. Среднемноголетняя его концентрация в эвфотическом слое (0–10 м) составляла 0,033 мг Р/л, во всей толще воды (слой 0–30 м) — 0,043 мг Р/л. Уровень фосфатов в слое 0–10 м в 2007–2011 гг. превышал среднемноголетний показатель, в 2001–2006 и 2012 гг. — напротив, был ниже этого зна-

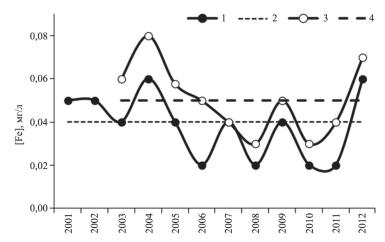


Рис. 10. Межгодовые изменения концентрации железа в слоях 0–10 (1) и 0–30 м (3) и их среднемноголетние значения (2 и 4 соответственно) в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг.

Fig. 10. The interannual dynamics of the concentration of iron in the layers 0–10 (1) and 0–30 m (3) and the average interannual concentrations (respectively 2 and 4) in the pelagic layer of the Lake Sarannoye in 2001–2012

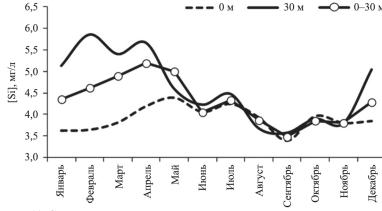


Рис. 11. Сезонные изменения среднемноголетних значений концентрации кремния (Si) в поверхностном (0 м) и придонном (30 м) горизонтах и в слое 0–30 м в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг. Fig. 11. The seasonal dynamics of the average annual concentration of silicon (Si) in the surface (0 m) and demersal (30 m) layers and in the pelagic layer 0–30 m in the Lake Sarannoye for 2001–2012

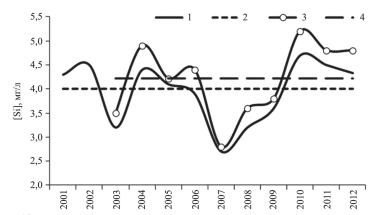


Рис. 12. Межгодовые изменения концентрации кремния в слоях 0–10 (1) и 0–30 м (3) и их среднемноголетние значения (2 и 4 соответственно) в пелагиали оз. Саранного в 2001–2012 гг. Fig. 12. The interannual dynamics of the concentration of silicon in the layer 0–10 m (1) and 0–30 m (3) and the average annual concentration (respectively 2 and 4) in the pelagic layer of the Lake Sarannoye for 2001–2012

чения. Концентрация минерального фосфора в слое 0–30 м варьировала в пределах 0,035–0,073 мг Р/л и, за исключением 2008 г., не превышала среднемноголетний уровень.

Преобладающей формой азота в озере являлся аммоний, содержание которого в эвфотическом слое, в среднем, составляло 0,077 мг N/л или 96% всего минерального азота, в слое 0-30 м эти показатели, соответственно, были равны 0,108 мг N/л и 93%. Максимум концентрации аммонийного азота был отмечен в 2005 г., что, вероятно, связано с его поступлением после минерализации тел нерки, отнерестовавшей в предыдущем году. Количество нитритов варьировало в пределах 0,001-0,004 мг N/л, наибольшее усиление процессов разложения органических веществ происходило в 2004 г. Нитратный азот содержался, в основном, на уровне следовой концентрации, его количество в озерных водах возрастало только в 2004, 2006 и 2008 гг. и не превышало 0,02 мг N/л.

В 2001–2012 гг. прослеживалась тенденция снижения содержания минерального азота в оз. Саранном. После 2005 г. его количество в водоеме сократилось почти в два раза, и межгодовые колебания концентрации как в эвфотическом, так и в слое 0–30 м стали происходить ниже среднемноголетнего уровня.

Многолетние изменения содержания железа в эвфотическом слое, в основном, не превышали следовой величины, рост его концентрации до 0,06 мг/л происходил только в 2004 и 2012 гг. В слое 0–30 м уровень железа повышался в 2003–2005 и 2012 гг., с максимумом концентрации в 2004 г. (0,08 мг/л.)

Озеро Саранное относится к водоемам с повышенным содержанием кремния. Среднемноголетняя его концентрация в слое 0–10 м составляла 4,0 мг/л, в слое 0–30 м — 4,2 мг/л. Динамика изменений содержания кремния в эвфотическом слое совпадала с межгодовыми колебаниями во всей водной толще и характеризовалась уменьшением его количества ниже среднемноголетнего уровня в 2003 и в 2007–2009 гг.

Сезонные изменения концентраций биогенных элементов были, в основном, обусловлены поступлением их с телами отнерестовавшей нерки, поверхностным и грунтовым стоками и интенсивностью

развития фитопланктона. Максимальное накопление биогенных элементов в водной толще происходило подо льдом, снижение концентраций — в безледный период при интенсивной вегетации диатомовых и синезеленых водорослей.

Гидрологические особенности оз. Саранного влияли на распределение биогенных элементов в водной толще. При отсутствии льда в условиях постоянного ветрового перемешивания водоема распределение биогенных элементов по вертикали носило однородный характер.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает огромную благодарность сотруднику лаборатории морских млекопитающих КамчатНИРО А.П. Семеринову, собравшему и предоставившему материал для данной работы, и Е.Г. Погодаеву, организовавшему лимнологические работы на оз. Саранном.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. 1973. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат. 269 с.

Алимов  $A.\Phi$ . 1989. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеоиздат. 152 с.

Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. 2013. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука. 342 с. Бугаев В.Ф., Кириченко В.Е. 2008. Нагульно-нерестовые озера азиатской нерки (включая некоторые другие водоемы ареала). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 280 с.

*Вецлер Н.М.* 2012. Особенности биологии и динамика численности пелагических ракообразных озе-

ра Саранного (Командоры) // Сб. лекций и докладов Междунар. школы-конференции «Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод» (Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 5–9 ноября 2012 г.). Кострома: Костромской печатный дом. С. 159–162.

Вецлер Н.М. 2015. Гидрологическая характеристика озера Саранного (Командоры) // Матер. Всеросс. науч. конф. с междунар. участием «Современное состояние и методы изучения экосистем внутренних водоемов», посвящ. 100-летию со дня рождения И.И. Куренкова (Петропавловск-Камчатский, 7–9 октября 2015 г.). С. 38–42.

Вецлер Н.М., Уколова Т.К., Свириденко В.Д. 2006. Гидрохимический режим оз. Дальнего в 1999—2004 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 8. С. 142—149.

Вецлер Н.М., Уколова Т.К., Свириденко В.Д. 2007. Многолетняя динамика содержания кислорода и минерального фосфора в озере Дальнем (Камчат-ка) // Водные ресурсы. Т. 34. № 6. С. 713–718.

Вецлер Н.М., Свириденко В.Д. 2014. Гидрохимические условия обитания молоди нерки в пелагиали озера Ближнего (Камчатка) // Матер. конф. «Чтения памяти профессора В.Я. Леванидова». (Владивосток, 19–21 марта 2014 г.) Вып. 6. Владивосток: Дальнаука. С. 144–151.

*Гутельмахер Б.Л.* 1983. Скорость экскреции фосфора морскими и пресноводными ракообразными // Гидробиологический журнал. № 2. С. 13–28.

Зенин А.А., Белоусова Н.В. 1988. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеоиздат. 239 с.

Крохин Е.М. 1957. Источники обогащения нерестовых озер биогенными элементами // Изв. Тихоокеан. научно-исслед. рыбохоз. центра. Т. 45. С. 29–35. Крохин Е.М. 1959. О влиянии количества отнерестовавших в озере производителей красной на режим биогенных элементов // ДАН СССР. Т. 128. № 3. С. 626–627.

Крохин Е.М. 1967. Влияние размеров пропуска производителей красной на фосфатный режим нерестовых озер // Изв. Тихоокеан. научно-исслед. рыбохоз. центра. Т. 57. С. 31–54.

Куренков С.И. 1970. Красная озера Саранного (Командорские острова) // Изв. Тихоокеан. науч.-исслед. рыбохоз. центра. Т. 78. С. 49–60.

Лепская Е.В., Базаркина Л.А., Уколова Т.К., Шагинян А.Э. 2009. Развитие гидробиологических процессов в Толмачевском водохранилище в период становления его экосистемы // Доклады IX Междунар. науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей» (Петропавловск-Камчатский, 25–26 ноября 2008 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 22–29.

Малютина А.М., Яковлев В.М., Минеева Т.В. 2014. Ихтиофауна пресных водоемов о. Беринга (Командорские острова) // Тез. докл. XV Междунар. науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей» (Петропавловск-Камчатский, 18–19 ноября 2014 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 310–313.

Погодаев Е.Г., Шатило И.В., Кудзина М.А., Чебанов Н.А., Шубкин С.В. 2012. Результаты исследований пресноводных биоресурсов и искусственного воспроизводства лососей // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 25. С. 145–165.

Пономарева Е.О., Исаченкова Л.В. 1991. Общая физико-географическая характеристика Командорских островов // В кн: Природные ресурсы Командорских островов (запасы, состояние, вопросы охраны и использования) М.: МГУ. С. 17–29.

Справочник по гидрохимии. 1989. Под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеоиздат. 390 с. *Finflay D.L., Hecky R.E., Kasian S.E.M., Stainton M.P., Hendzel L.L., Schindler E.U.* 1999. Effects on phytoplankton of nutrients added in conjunction with acidification // Freshwater Biol. V. 41. № 1. P. 131–145.