

УДК 639.312:631.8

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПАРАТУНСКИХ ОЗЕР

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



Представлены материалы по содержанию биогенных элементов в двух нерестово-нагульных водоемах нерки: оз. Дальнее и Ближнее. На основе круглогодичных наблюдений проведен сравнительный анализ сезонных изменений гидрохимических условий в Паратунских озерах в 2001–2006 гг. Установлено, что оз. Дальнее отличается более высоким содержанием фосфатов, нитратного азота и кремния, но меньшим количеством железа и аммония, по сравнению с оз. Ближнее. Показано, что динамика биогенных элементов в течение года имеет большое сходство: периоды повышения и снижения их концентраций в озерных водах, в основном, совпадают.

N. M. Vetsler, T. K. Ukolova, V. D. Sviridenko. Comparative characterization of hydrochemical regime of the lakes Paratunskiye // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers KamchatNIRO. Vol. 10. 2008. P. 5–12.

Data on the occurrence of biogenic elements in two sockeye salmon spawning-nursery lakes: Dalneye and Blizhneye have been demonstrated. Comparative analysis of seasonal trends in hydrochemical conditions in these two lakes was made on the base of round year observations for 2001–2006. It is found that the lake Dalneye has a higher concentration of phosphates, nitrate nitrogen and silicon, but lower concentrations of iron and ammonium compared to the lake Blizhneye. It is demonstrated that round year dynamics of the biogenes is very similar: the increases and the decreases of concentrations of biogenic elements in the water in general coincided in these lakes.

Озера Дальнее и Ближнее — нерестово-нагульные водоемы, обеспечивающие естественное воспроизводство тихоокеанского лосося — нерки (*Oncorhynchus nerka* Walb.). Оба озера находятся на юго-востоке Камчатского полуострова в бассейне р. Паратунка, и поэтому получили название Паратунских. Оз. Дальнее и Ближнее имеют большое сходство морфометрических параметров (табл. 1). Водоемы имеют продолговатую форму, их долины вытянуты в широтном направлении (Крохин, 1948).

Уникальность исследований Паратунских озер заключается в их регулярности и продолжительности. Мониторинг водоемов был начат в тридцатые годы прошлого столетия и продолжается до настоящего времени. За время многолетних исследований экосистемы озер претерпели значительные изменения, обусловленные, в основном, динамикой нерестовых заходов половозрелой нерки. Наиболь-

шие подходы производителей нерки в Паратунские озера, достигающие численности 40–150 тысяч штук, были отмечены в 1930–1940-е гг. (Крогиус, Крохин, Меншуткин, 1969; Погодаев, 1995) и во второй половине 1980-х гг. (Погодаев, 1993, 2002). В последние годы ближнеозерская и дальнеозерская популяции нерки подвержены жесточайшему браконьерскому прессу и находятся в депрессивном состоянии.

Результаты гидрохимических исследований озер в 1937–1975 гг. имеют большое теоретическое и практическое значение и представлены в публикациях Е.М. Крохина и Ф.В. Крогиус (Крохин, 1948, 1957, 1959, 1967; Крогиус, Крохин, Меншуткин, 1969, 1987). Однако в большинстве этих работ рассмотрен биогенный режим оз. Дальнее и, в меньшей степени, оз. Ближнее. Исключением является работа Е.М. Крохина (1948), посвященная анализу гидрохимического режима Паратунских озер в период максимальных заходов нерки на нерест (1932–1946 гг.). Некоторые данные по содержанию минерального фосфора в оз. Ближнее приведены при рассмотрении влияния заходов производителей на фосфатный режим нерковых озер (Крохин, 1957, 1967).

В настоящей работе представлены материалы по содержанию биогенных элементов в Паратунских озерах в 2001–2006 гг. и проведен сравнительный анализ сезонных изменений гидрохимических условий за этот период.

Таблица 1. Основные морфометрические показатели Паратунских озер

Параметры	оз. Дальнее	оз. Ближнее
Длина, км	2,5	4,6
Средняя ширина, км	0,54	0,76
Длина береговой линии, км	6,1	10,1
Площадь, км ²	1,36	3,50
Максимальная глубина, м	60,5	38,0
Средняя глубина, м	31,5	15,7
Объем × 10 ⁶ м ³	42,80	54,95
Площадь бассейна, км ²	11,3	20,0

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили данные круглогодичных наблюдений, выполненных на постоянных станциях, расположенных в центральной глубоководной части пелагиали водоемов. Отбор гидрохимических проб проводили опрокидывающимся батометром на горизонтах 0, 5, 10, 20 и 30 м в оз. Ближнее и 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 м — в оз. Дальнее. Определение концентрации биогенных элементов было выполнено стандартными методами согласно «Руководству по химическому анализу вод суши» (Алекин и др., 1973). Минимальное содержание железа, определяемое применяемым методом, составляло 0,05 мг Fe/л. Следовые количества для нитритов соответствуют концентрации менее 0,0005 мг N/л, нитратов — ниже 0,01 мг N/л. Средневзвешенные величины концентрации биогенных элементов рассчитывали для слоя 0–50 м в оз. Дальнее и 0–30 м — в оз. Ближнее.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание биогенных элементов в природных водах — один из факторов, который регулирует развитие фитопланктона, первого трофического звена озер, и определяет биологическую продуктивность водоемов в целом.

В 2006 г. гидрохимические исследования Паратунских озер включали определение минеральных форм фосфора, азота, кремния и общего железа (табл. 2, 3).

Озеро Дальнее

Ф о с ф о р. Наибольшее накопление фосфатов в озерной воде происходило в осенне-зимние месяцы — период обогащения водоема фосфором от минерализации сненки и наименьшего развития водорослей. Годовой максимум их концентрации в слое 0–50 м был отмечен в декабре (0,037 мг P/л).

Летом содержание минерального фосфора в слое 0–50 м, за счет потребления фитопланктоном, понижалось, в среднем, до 0,017 мг P/л. Снижение концентрации минерального фосфора происходило и в ноябре — в период осеннего «цветения» фитопланктона в водоеме. Минимальное количество фосфатов (0,015 мг P/л) в оз. Дальнее было отмечено в августе–сентябре — в период заглупления металимниона и наибольшего обеднения эпилимниальных вод биогенными веществами (рис. 1). Среднее содержание минерального фосфора в оз. Дальнее в 2001–2006 гг. составляло 0,023 мг P/л.

А з о т. Минеральный азот присутствует в озерной воде в трех формах: аммонийной, нитритной и нитратной. Аммоний образуется при минерализа-

Таблица 2. Средневзвешенные значения концентрации биогенных элементов в пелагиали оз. Дальнее в 2001–2006 гг.

Дата	Ингредиенты, мг/л					
	P-PO ₄	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Fe	Si
2001						
26.01	0,040	0,03	0,001	0,14	<0,05	3,9
24.02	0,034	0,05	0,002	0,11	<0,05	4,2
26.03	0,015	0,14	0,005	0,03	0,07	5,5
19.04	0,019	0,09	0,004	0,11	0,07	4,8
29.05	0,023	0,08	0,002	<0,01	<0,05	3,6
25.06	0,018	0,05	0,002	<0,01	0,07	3,3
26.07	0,019	0,07	0,003	0,01	0,07	4,2
29.08	0,019	0,07	0,001	<0,01	0,08	4,6
30.09	0,023	0,03	0,001	0,01	0,10	4,0
31.10	0,034	0,09	0,003	<0,01	<0,05	4,5
28.11	0,010	0,11	0,003	0,01	0,07	4,9
27.12	0,076	0,15	0,005	0,01	0,09	5,0
2002						
29.01	0,037	0,06	0,001	0,02	<0,05	4,9
20.02	0,018	0,03	<0,0005	0,02	0,07	4,3
20.03	0,027	0,11	0,003	0,01	0,08	5,1
27.04	0,039	<0,002	<0,0005	0,02	<0,05	3,4
29.05	0,020	0,08	0,004	0,04	0,05	5,5
26.06	0,020	0,08	0,003	<0,01	0,08	4,4
17.07	0,030	0,10	0,003	<0,01	0,09	4,2
16.08	0,020	0,10	0,002	0	0,08	4,3
15.09	0,020	0,10	0,002	0	0,07	4,9
15.10	0,026	0,09	0,005	0,01	0,10	4,8
15.11	0,033	0,07	0,002	0,05	<0,05	4,1
20.12	0,040	0,03	0,001	0,03	<0,05	4,5
2003						
21.01	0,013	0,01	0,001	0,04	0,05	3,4
16.02	0,044	0,04	0,002	0,09	0,07	3,5
16.03	0,040	0,05	0,001	0,09	0,06	4,4
16.04	0,046	0,03	0,002	0,22	<0,05	4,0
09.06	0,048	0,13	0,004	0,08	0,05	3,7
18.06	0,020	0,13	0,004	0,05	0,07	1,1
09.07	0,020	0,17	0,003	<0,01	0,08	4,0
29.07	0,018	0,13	0,004	0,01	0,05	3,9
22.08	0,015	0,09	0,003	0,01	0,06	4,1
17.09	0,017	0,20	0,006	<0,01	0,06	4,4
22.10	0,020	0,10	0,004	0,01	0,06	4,3
20.11	0,018	0,16	0,005	0,03	0,10	4,3
28.12	0,030	0,05	0,002	0,06	<0,05	3,6
2004						
16.01	0,036	0,03	0,002	0,07	<0,05	3,4
26.02	0,020	0,04	0,006	<0,01	0,09	3,8
24.03	0,027	0,06	0,004	<0,01	0,07	3,8
21.04	0,020	0,11	0,003	0,01	0,06	4,3
26.05	0,027	0,07	0,004	0,06	0,09	3,7
20.06	0,018	0,12	0,003	0,07	0,07	2,9
19.07	0,017	0,07	0,005	0,04	0,06	5,6
15.08	0,014	0,18	0,002	<0,01	<0,05	4,2
25.09	0,017	0,10	0,002	0,16	0,06	4,1
20.10	0,028	0,39	0,004	0,04	0,05	3,6
20.11	0,018	0,57	0,003	<0,01	0,05	4,5
28.12	0,010	0,47	0,003	0,01	<0,05	3,9

Продолжение табл. 2

Дата	Ингредиенты, мг/л					
	P-PO ₄	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Fe	Si
2005						
26.01	0,033	0,03	0,002	0,11	<0,05	3,4
26.02	0,025	0,06	0,003	0,01	<0,05	4,1
07.03	0,020	0,07	0,004	0,01	0,05	4,2
25.04	0,017	0,13	0,004	0,07	<0,05	3,8
19.05	0,020	0,13	0,002	0,02	0,10	4,5
23.06	0,017	0,09	0,003	0,01	0,05	4,1
25.07	0,010	0,13	0,002	<0,01	0,07	4,0
19.08	0,004	0,10	0,003	0,01	0,10	3,9
25.09	0,004	0,18	0,005	<0,01	0,10	4,1
31.10	0,020	0,07	0,001	0,12	<0,05	3,5
26.11	0,013	0,02	<0,0005	0,02	<0,05	3,6
2006						
21.02	0,027	0,02	0,001	0,09	<0,05	4,2
26.03	0,020	0,07	0,002	0,14	<0,05	4,5
24.04	0,020	0,07	0,001	0,14	<0,05	4,5
20.06	0,010	0,11	0,003	0,05	0,10	4,6
26.07	0,015	0,06	<0,0005	0,08	<0,05	4,2
29.08	0,017	0,01	0,005	0,13	<0,05	4,7
29.09	0,009	0,06	0,006	0,03	<0,05	5,0
24.10	0,026	0,02	0,001	0,11	<0,05	5,2
16.11	0,030	0,03	0,001	0,02	<0,05	5,0
20.12	0,025	0,02	0,011	0,10	<0,05	4,0

ции 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). Повышение концентрации этого биогенного элемента в оз. Дальнее было отмечено в летне-осенние месяцы (июнь–ноябрь). Снижение содержания аммония в озерной воде происходило, преимущественно, подо льдом (январь–май). Годовой максимум его концентрации приходился на ноябрь (0,160 мг N/л), минимум — на январь (0,033 мг N/л) (рис. 2). Среднее количество аммонийного азота в водоеме в 2001–2006 гг. составляло 0,094 мг N/л.

Присутствие нитратов в воде озер связано с поступлением их с поверхностным и грунтовым стоком и с процессами нитрификации аммонийных ионов в присутствии кислорода под действием нитрифицирующих бактерий. Главным процессом, направленным на понижение концентрации нитратного азота, является потребление его фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород нитратов на окисление органических веществ (Зенин, Белоусова, 1988). Снижение содержания нитратного азота в оз. Дальнее происходило в

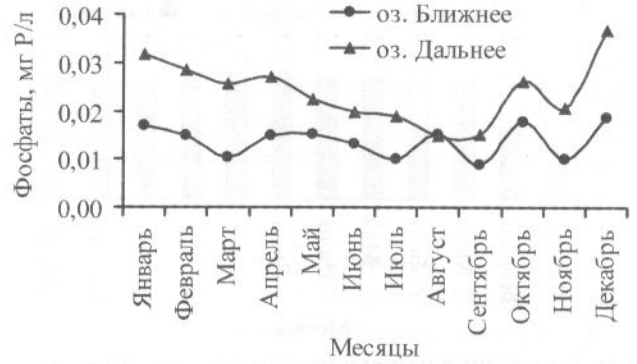


Рис. 1. Сезонные изменения среднего многолетних значений концентрации фосфатов в пелагиали Паратунских озер в 2001–2006 гг.

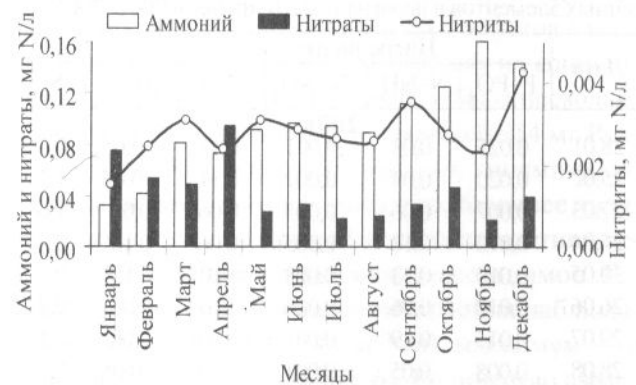


Рис. 2. Сезонные изменения среднего многолетних значений концентрации минерального азота в слое 0–50 м в пелагиали оз. Дальнее в 2001–2006 гг.

весенне-летнее время при интенсивной вегетации фитопланктона. Осенью (сентябрь–октябрь) концентрация нитратов несколько увеличивалась и достигала максимума зимой, когда при минимальном потреблении азота происходило разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные (рис. 2). Средняя концентрация нитратного азота в оз. Дальнее в 2001–2006 гг. составила 0,05 мг N/л.

Нитриты являются промежуточной формой окисления азота и содержатся в озерах в небольшом количестве (рис. 2, 6). В 2001–2006 гг. сезонные колебания концентрации нитритного азота в оз. Дальнее не превышали тысячной доли мг и, в среднем, составили 0,003 мг N/л. Сезонные колебания нитритов были, в основном, аналогичны изменениям содержания аммония и характеризовались снижением их концентрации в начале года (январь–февраль) и повышением в конце (декабрь) (рис. 2).

По усредненным данным преобладающей формой азота в 2001–2006 гг. в оз. Дальнее был аммоний (рис. 3). На его долю, в среднем, приходи-

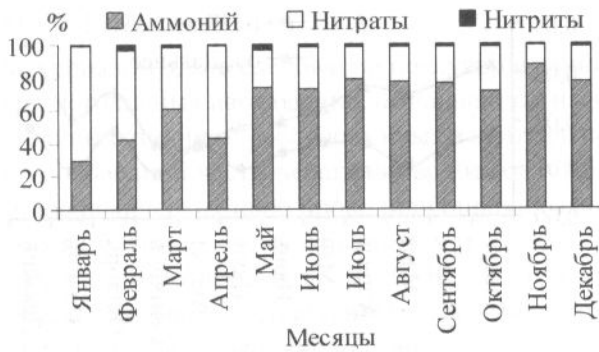


Рис. 3. Сезонные изменения соотношения минеральных форм азота в слое 0–50 м в пелагиали оз. Дальнее в 2001–2006 гг.

Таблица 3. Средневзвешенные значения концентрации биогенных элементов в пелагиали оз. Ближнее в 2001–2006 гг.

Дата	Ингредиенты, мг/л					
	P-PO ₄	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Fe	Si
2001						
28.01	0,025	0,03	0,001	0,11	<0,05	0,6
25.02	0,020	0,04	0,001	0,11	<0,05	1,3
27.03	0,007	0,06	0,003	0,06	0,05	1,6
26.04	0,010	0,14	0,005	0,06	0,10	2,4
30.05	0,010	0,13	0,003	<0,01	0,10	2,0
26.06	0,010	0,06	0,004	<0,01	0,06	0,7
29.07	0,015	0,19	0,001	<0,01	0,06	1,1
28.08	0,008	0,05	0,001	<0,01	<0,05	0,9
30.09	0,005	0,03	<0,0005	0,02	<0,05	0,7
31.10	0,028	0,08	0,002	<0,01	<0,05	0,8
28.12	0,024	0,07	0,003	<0,01	<0,05	1,0
2002						
01.01	0,015	0,08	0,001	0,03	<0,05	1,6
20.02	0,004	0,09	0,001	0,01	0,05	2,8
20.03	0,005	0,10	0,005	0,00	0,05	2,4
27.04	0,017	0,01	0,000	0,03	<0,05	1,2
31.05	0,019	0,05	0,004	0,02	0,15	2,9
28.06	0,016	0,06	0,003	<0,01	0,07	2,8
16.07	0,014	0,10	0,003	0	0,07	2,6
17.08	0,016	0,09	0,006	<0,01	0,10	2,4
15.09	0,010	0,07	0,001	<0,01	0,09	2,1
21.10	0,015	0,11	0,002	<0,01	0,05	1,5
19.11	0,010	0,05	0,002	0	0,07	1,0
19.12	0,020	0,06	0,002	<0,01	0,07	1,1
2003						
24.01	0,010	0,06	0,004	<0,01	<0,05	0,7
16.02	0,029	0,10	0,006	0,08	0,07	0,9
16.03	0,015	0,07	0,010	0,07	0,07	1,5
16.04	0,019	0,03	0,002	0,12	<0,05	0,7
09.06	0,019	0,11	0,004	0,01	0,10	1,3
18.06	0,023	0,10	0,004	0,01	0,10	0,9
10.07	0,010	0,10	0,003	0	0,10	1,1
29.07	0,010	0,10	0,002	<0,01	0,06	1,1
22.08	0,018	0,04	0,001	0	<0,05	1,1
18.09	0,020	0,20	0,002	0,01	0,06	1,3
22.10	0,015	0,06	0,002	<0,01	0,05	1,2
20.11	0,014	0,09	0,003	0,02	0,07	1,2
28.12	0,015	0,23	0,006	0,020	0,06	1,5

Продолжение табл. 3

Дата	Ингредиенты, мг/л					
	P-PO ₄	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Fe	Si
2004						
18.01	0,017	0,13	0,004	<0,01	0,07	1,8
27.02	0,005	0,17	0,003	0,03	0,07	1,6
25.03	0,008	0,10	0,004	0,03	0,07	1,6
21.04	0,015	0,09	0,002	0,01	<0,05	1,9
27.05	0,016	0,08	0,005	0,01	0,10	1,7
21.06	0,018	0,14	0,004	0,01	0,10	1,9
19.07	0,010	0,14	0,002	<0,01	0,05	0,6
22.09	0,008	0,08	0,002	0,01	0,07	1,5
26.10	0,014	0,11	0,003	0	0,08	3,0
24.11	0,018	0,28	0,006	<0,01	0,06	1,4
29.12	0,013	0,29	0,004	0,01	<0,05	1,5
2005						
26.01	0,019	0,11	0,001	0,09	<0,05	0,7
27.02	0,019	0,80	0,005	0	0,09	2,6
08.03	0,019	0,26	0,006	<0,01	0,09	2,7
26.04	0,009	0,13	0,004	0,01	0,06	1,4
26.05	0,015	0,07	0,002	0,07	0,08	1,4
26.07	0,005	0,12	0,003	0,01	0,07	2,1
20.08	0,008	0,05	0,001	0,06	<0,05	1,8
26.09	0,003	0,27	0,003	0,02	<0,05	1,7
31.10	0,010	0,06	0,002	0,02	<0,05	1,0
27.11	0,008	0,02	0,003	0,01	<0,05	0,8
2006						
21.02	0,010	0,03	0,002	0,05	<0,05	1,1
26.03	0,009	0,06	0,002	0,11	<0,05	1,2
24.04	0,019	0,06	0,002	0,11	<0,05	1,4
20.06	0,006	0,04	0,002	0,02	0,10	0,9
27.07	0,010	0,07	0,001	<0,01	0,06	1,3
30.08	0,020	0,02	0,006	0,10	<0,05	1,4
28.09	0,005	0,05	0,001	0,02	<0,05	1,6
25.10	0,025	0,10	0,001	0,01	0,20	1,5
18.11	0,016	0,14	0,000	0,05	<0,05	1,3
21.12	0,023	0,45	0,011	0,05	<0,05	0,9

лось 66% всего минерального азота. Относительное содержание нитратного азота составляло 32%, нитритного — 2% от суммы минеральных форм азота.

Ж е л е з о. Соединения железа поступают в водоем 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 водоеме образуется сложный комплекс соединений железа. Являясь биологически активным элементом, железо, в определенной степени, влияет на интенсивность развития фитопланктона в озерах (Никаноров, 1989).

Содержание железа в оз. Дальнее в течение года изменялось от следовых величин до 0,08 мг/л (рис. 4).

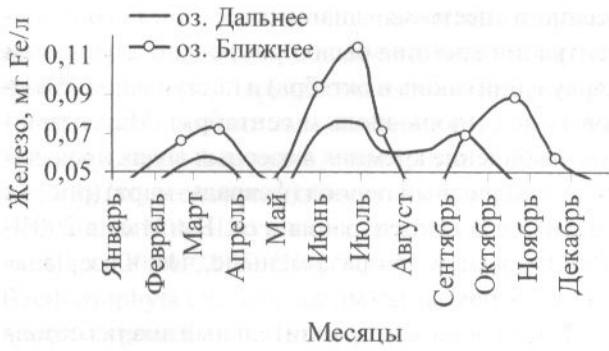


Рис. 4. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации железа в пелагиали Паратунских озер в 2001–2006 гг.

Максимум его концентрации был отмечен в период весенней циркуляции и поступления паводковых вод в начале лета (май–июнь). Второе повышение содержания железа в дальнеозерских водах происходило в сентябре, вероятно, в результате его поступления со стоком во время осенних циклонов. Средняя концентрация железа в оз. Дальнее в 2001–2006 гг. составляла 0,05 мг/л.

К р е м н и й. Основными потребителями кремния являются диатомовые водоросли, доминирующие в фитосообществе озера (Крогиус и др., 1969, 1987; Павельева, 1974), поэтому его сезонные колебания обычно связаны с динамикой фитопланктона. Максимальное потребление кремния в оз. Дальнее происходило в период весенней вегетации фитопланктона: его концентрация снижалась в этот период до 3,6 мг/л. Максимум концентрации кремния (4,6 мг/л) наблюдали в марте при минимальном развитии водорослей в озере в подледный период. Значительное понижение кремния, очевидно, связанное с вспышкой численности диатомовых в декабре–январе, было отмечено в начале года (январь–февраль). С июля по декабрь со-

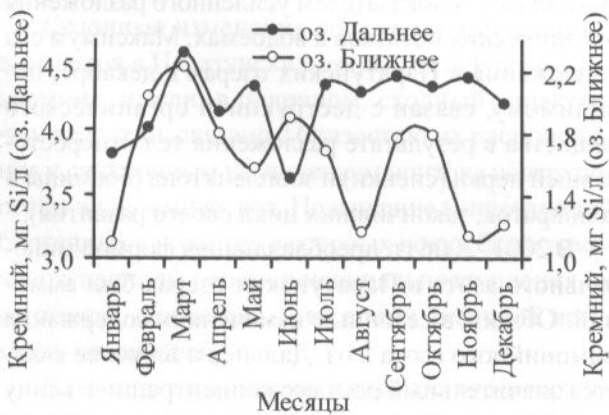


Рис. 5. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации кремния в пелагиали Паратунских озер в 2001–2006 гг.

держание кремния было достаточно стабильным и изменялось в диапазоне 4,2–4,4 мг/л (рис. 5). В 2001–2006 гг. оз. Дальнее характеризовалось большим содержанием кремния, чем Ближнее. Его средняя концентрация в пелагиали дальнеозерских вод составляла 4,2 мг/л.

Озеро Ближнее

Ф о с ф о р. Сезонные изменения содержания фосфатов в оз. Ближнее, в целом, повторяли картину, наблюдаемую в оз. Дальнее. Минимальное их количество (0,009 мг P/l) в слое 0–30 м также было отмечено в сентябре. Годовой максимум концентрации минерального фосфора был приурочен к декабрю (0,019 мг P/l). Отличием является некоторое повышение количества фосфатов в воде оз. Ближнее в августе (рис. 1). Средняя их концентрация в оз. Ближнее в 2001–2006 гг. была несколько ниже, чем в оз. Дальнее и составляла 0,014 мг P/l.

А з о т. Особенностью сезонной динамики содержания аммонийного азота в оз. Ближнее являлось снижение его количества в весенне-летний период и повышение в водоеме осенью и зимой. Годовой минимум концентрации аммония наблюдали обычно в августе (0,05 мг N/l), максимум — в декабре (0,022 мг N/l) (рис. 6). Количество аммонийного азота в оз. Ближнее в 2001–2006 гг. было выше, чем в оз. Дальнее и, в среднем, составляло 0,115 мг N/l.

Содержание нитратного азота в оз. Ближнее изменялось в течение года от следовых величин до 0,06 мг N/l (рис. 6). Как и в оз. Дальнее, рост концентрации нитратов в ближнеозерских водах происходил в подледный период (январь–апрель). Снижение содержания нитратного азота происходило в летне-осеннее время при интенсивном их потреблении фитопланктоном. Средняя концентра-

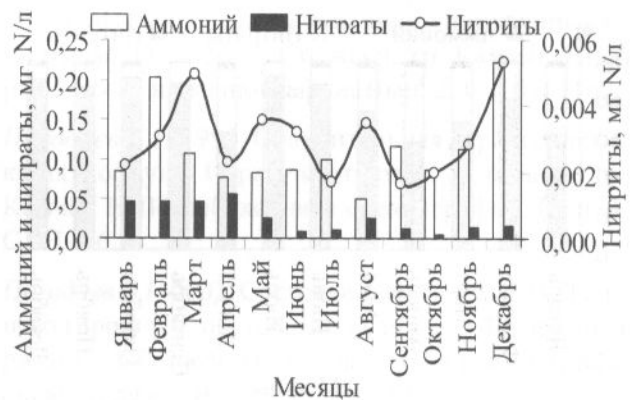


Рис. 6. Сезонные изменения среднееголетних значений концентрации минерального азота в слое 0–30 м оз. Ближнее в 2001–2006 гг.

ция нитратов в оз. Ближнее в 2001–2006 гг. составила 0,029 мг N/л.

Количество нитритного азота в оз. Ближнее изменялось в диапазоне 0,002–0,005 мг N/л, а средняя концентрация в 2001–2006 гг. составляла 0,003 мг N/л. Сезонные изменения содержания нитритного азота носили волнообразный характер. Повышение его концентраций в слое 0–30 м чередовалось с периодами снижения. Максимальное количество нитритов, как и в оз. Дальнее, наблюдали в конце года (в декабре) (рис. 6).

В оз. Ближнее, как и в оз. Дальнее, доминирующей формой азота в 2001–2006 гг. являлся аммоний, на долю которого приходилось, в среднем, 79% всего минерального азота. Концентрация нитратов, в среднем, составляла 19%, нитритов — 2% от суммы минеральных форм азота (рис. 7).

Ж е л е з о. Озеро Ближнее характеризовалось более повышенным содержанием железа по сравнению с оз. Дальнее. Вероятно, это связано с большим притоком этого биогенного элемента со сточными водами, так как площадь водосбора первого озера почти в два раза больше, чем второго (табл. 1). Наибольший рост концентрации железа в оз. Ближнее происходил при весеннем (май–июнь) и осеннем (сентябрь–октябрь) поступлении паводковых вод. Незначительное увеличение его содержания в Паратунских озерах было отмечено в подледный период при минимальном потреблении железа фитопланктоном и накоплении его в придонном слое (рис. 3).

К р е м н и й. В оз. Ближнее снижение количества кремния происходило в периоды весенней (май) и осенней вегетации фитопланктона (ноябрь–декабрь). Значительное понижение его концентрации было отмечено в позднюю фазу летней стратификации при обеднении вод эпилимниона биогенными элементами (август) и в январе — после

осеннего «цветения» диатомовых. Повышение концентрации кремния было приурочено к периодам циркуляции (июнь и октябрь) и поступления паводковых вод (июнь–июль и сентябрь). Максимальное накопление кремния в озерных водах происходило в подледный период (февраль–март) (рис. 4). Средняя его концентрация в оз. Ближнее в 2001–2006 гг. была в три раза меньше, чем в оз. Дальнее, и составила 1,5 мг/л.

Таким образом, сравнительный анализ сезонных изменений гидрохимических условий в Паратунских озерах показал значительные колебания содержания биогенных элементов в течение года. Внутригодовые изменения концентрации минерального фосфора в воде озер были, в основном, обусловлены динамикой развития фитопланктона и внутриводоемными процессами. Наибольшее содержание фосфатов в воде, в основном, приходилось на периоды минимального развития водорослей в озерах (зимний период) (Крогиус и др., 1969). Содержание минерального фосфора повышалось за счёт его поступления с грунтовыми и поверхностными водами во время весенних (при таянии снега — апрель) и осенних паводков (во время циклонов — октябрь). Низкие концентрации фосфатов были отмечены в весенне-летние месяцы и осенью при интенсивном их потреблении фитопланктоном.

Сезонные изменения содержания нитратного азота в Паратунских озерах имели большое сходство. Снижение его концентрации происходило в весенне-летнее время при интенсивной вегетации фитопланктона. Наибольшее содержание нитратного азота было отмечено зимой, когда происходило разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные, а потребление нитратов было минимальным.

Увеличение концентрации нитритного азота в воде является показателем усиленного разложения органических остатков в водоемах. Максимум его содержания в Паратунских озерах в декабре, по-видимому, связан с деструкцией органического вещества в результате разложения тел отнерестовавшей нерки (сненки) и зоопланктона (босмины и коловраток, закончивших цикл своего развития).

В 2001–2006 гг. преобладающей формой минерального азота в Паратунских озерах был аммоний. Общим в сезонных изменениях содержания аммонийного азота в оз. Дальнее и Ближнее является значительный рост его концентрации к концу года, что, вероятно, связано с минерализацией органического вещества сненки и диффузией аммония из донных отложений.

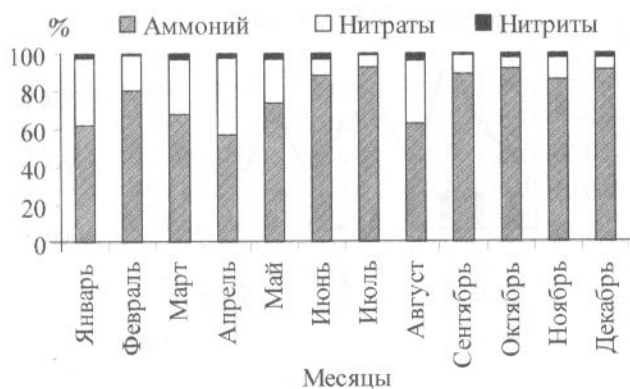


Рис. 7. Сезонные изменения соотношения минеральных форм азота в слое 0–50 м в пелагиали оз. Дальнее в 2001–2006 гг.

Важным фактором, регулирующим видовой состав фитопланктона в водоеме, является соотношение форм минерального азота (Finflay et al., 1999). Преобладание аммонийного азота в Паратунских озерах, вероятно, определяет особенности фитопланктонного сообщества в этих водоемах. По данным Н.А. Шкуриной с соавторами (Шкурина и др., 2004, 2005; Шкурина, Белякова, 2006), Bacillariophyta составляют основу первого трофического уровня в оз. Дальнее и преобладают как по численности, так и по видовому составу по сравнению с другими группами водорослей. К наиболее массовым относятся 9 видов из семейств Stephanodiscaceae и Fragilariaceae: *Cyclotella bodanica* Eulenz., *Fragilaria bidens* Heib., *F. capucina* Desm., *F. vaucheriae* (Kütz.), *Stephanodiscus alpinus* Hust., *S. minutulus* (Kütz.) Cleve et Möller, *S. cf. parvus* Grun., *S. ulna* (Nitzs.) Ehrenb., *S. tenera* W. Smith.

Сезонные изменения содержания железа в Паратунских озерах в 2001–2006 гг. имели сходный характер: периоды увеличения и снижения концентраций, в основном, совпадали. После периодов активной вегетации фитопланктона происходило снижение количества железа в озерных водах. Повышение его концентрации было приурочено к периоду поступления паводковых вод. В то же время внутригодовые изменения содержания кремния в озерах имели существенные различия, что, вероятно, связано с особенностями сезонной динамики фитопланктонных сообществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрохимический режим оз. Дальнее в 2001–2006 гг. отличался более высоким содержанием фосфатов, нитратного азота и кремния, но меньшим количеством железа и аммония, по сравнению с оз. Ближнее.

Сезонные изменения содержания биогенных элементов в Паратунских озерах, за исключением кремния, имели, в основном, сходный характер, что, вероятно, связано с близостью их расположения и синхронным увеличением притока поверхностных и подземных вод. Повышение концентраций биогенных элементов в озерных водах было отмечено в периоды перемешивания и поступления их со стоком, снижение — во время активной вегетации водорослей.

В сезонных изменениях содержания минеральных форм азота в оз. Дальнее и Ближнее отмечено преобладание аммония почти в течение всего года, что определило доминирующее значение

этой формы минерального азота в Паратунских озерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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. Дис. ... д-ра биол. наук. Л.: 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. 29–35.

Крохин Е.М. 1959. О влиянии количества отнерестовавших в озере производителей красной (*Oncorhynchus nerka*) на режим биогенных элементов // Докл. 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.

Никаноров А.М. 1989. Гидрохимия: учеб. пособие. Л.: Гидрометеиздат, 351 с.

Павельева Е.Б. 1974. Начальные звенья продукционного процесса и их утилизация в оз. Дальнем // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 24 с.

Погодаев Е.Г. 1993. Значение пресноводного периода в формировании цикличности поколений нерки озера Дальнего // Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 2. С. 107–116.

Погодаев Е.Г. 1995. Сравнительная характеристика ихтиофауны Паратунских озер // Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 3. С. 61–66.

Погодаев Е.Г. 2002. Состояние экосистемы оз. Дальнего (прошлое, настоящее, будущее). Фосфатный режим // Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 6. С. 291–295.

Шкурина Н.А., Лепская Е.В., Белякова Г.А. 2004. Диатомовые водоросли озера Дальнее (Камчатка) //

Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 7. С. 88–93.

Шкурина Н.А., Лепская Е.В., Белякова Г.А. 2005. Диатомовые водоросли озера Дальнее (Камчатка) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 3. Владивосток: Дальнаука. С. 214–222.

Шкурина Н.А., Белякова Г.А. 2006. Водоросли сем. Gomphonemataceae в озере Дальнее (Камчат-

ка) // Материалы междунар. конф. «Грибы и водоросли в биоценозах — 2006», посвящённой 75-летию биофака МГУ (Москва, 31 января – 3 февраля 2006). С. 180–181.

Finflay D.L., R.E. Hecky, S.E.M. Kasian, M.P. Stainton, L.L. Hendzel and E.U. Schindler. 1999. Effects on phytoplankton of nutrients added in conjunction with acidification // *Freshwater Biol.* V. 41. N. 1. P. 131–145.