

УДК 574.4: 574.5

DOI 10.18101/2306-2363-2018-4-13-25

**ОСОБЕННОСТИ МАКРО-И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
И ПИГМЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРосЛЕЙ
ОЗЕРА ГУСИНОЕ В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД**

© **Л. Д. Раднаева**

доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией,
Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
Бурятский государственный университет
E-mail: radld@mail.ru

© **В. Г. Ширеторова**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
E-mail: vshiretorova@rambler.ru

© **Г. Ц. Цыбекмитова**

кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
672014, Чита, ул. Недорезова, 16а
E-mail: gazhit@bk.ru

© **И. А. Павлов**

кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
E-mail: pavlov@binm.ru

© **С. Г. Андреев**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
E-mail: baikal.andreev@gmail.com

© **Е. Ц. Пинтаева**

кандидат химических наук, научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
E-mail: e-pintaeva@yandex.ru

© **Е. Ж. Гармаев**

доктор географических наук, профессор РАН, директор,
Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
E-mail: garend1@yandex.ru

© **А. К. Тулохонов**

доктор географических наук, академик РАН, научный руководитель,

Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8
E-mail: aktulohonov@binm.ru

Донные отложения малых озер накапливают информацию даже о небольших климатических изменениях и о хозяйственной деятельности человека на озерных водосборах. Комплексное изучение донных осадков озер разной глубины и гидрологического режима, расположенных в различных ландшафтно-климатических зонах, дает основу для разнопериодных палеоклиматических реконструкций. Процесс формирования донных отложений в водоемах определяется различиями внутриводоемных гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических характеристик экосистемы, а также характером и интенсивностью антропогенной нагрузки. В связи с этим появилась необходимость исследования гидрохимических показателей и пигментных характеристик водной толщи оз. Гусиное для оценки современного состояния водоема. Цель настоящей работы — исследование современного макро-и микроэлементного состава и фотосинтетической активности водной толщи оз. Гусиное в подледный период — в период без непосредственного влияния аллохтонного вещества водосборной территории. Анализ результатов химического анализа поверхностных и придонных вод в акватории оз. Гусиное показал, что в подледный период минерализация вод изменялась в пределах — 392-403 мг/дм³, с большими значениями у поверхности и меньшими в придонном слое. Преобладающими ионами в макрокомпонентном составе вод озера являются гидрокарбонат-ион (211-220 мг/дм³), сульфат-ион (56-61 мг/дм³), ионы натрия (51-55 мг/дм³) и кальция (28-30 мг/дм³). В придонном слое заметно некоторое повышение содержания сульфатов и ионов натрия вблизи юго-западного побережья в точке с наибольшей глубиной, обусловленное поступлением подземных вод, проходящих через угленосные отложения. Содержание биогенных веществ в подледный период было минимальным — нитриты, аммоний и фосфаты находились ниже предела обнаружения, содержание нитратов изменялось в пределах 0,01-0,08 мг/дм³. Было определено 10 микроэлементов (Cr, Cd, Cu, Fe, Zn, Pb, Mn, Ba, Ni, Al) и наибольшие концентрации суммы элементов наблюдались в придонном слое в самом глубоком месте озера. Фитопланктон в период наблюдений обладал высокой фотосинтетической и продукционной активностью. На это указывают полученные результаты по концентрации хлорофилла *a*, феофитина *a*, индекса Маргалефа и соотношению каротиноиды/хлорофилл *a*, характеризующие физиологическое состояние фитопланктона.

Ключевые слова: озеро Гусиное, макрокомпонентный и микроэлементный состав воды, хлорофилл, пигменты, планктон, донные отложения, гидрохимия.

Озеро Гусиное — крупнейшее пресное озеро на территории Забайкалья. Площадь водосборного бассейна равна 924 км², площадь водного зеркала 164 км², длина — 24,8 км, средняя ширина — 8 км, максимальная глубина 26 м, средняя глубина 15 м. Объем водной массы — 2,4 км³. Абсолютная высота уреза воды составляет 551 м [1]. Озеро расположено в Гусиноозерской впадине, представляющей собой депрессию грабенсинклинального типа, расположенную между двумя кристаллическими поднятиями — хребтами Хамбинским на северо-западе и Моностойским на юго-востоке. С гидрогеологических позиций озеро занимает значительную часть одноименного субаквального артезианского бассейна забайкальского типа, сформировавшегося в юрско-меловое время [2] Литоральная часть озера составляет всего 6,3% общей площади зеркала. Берега слабоизрезан-

ные, местами обрывистые, но в основном низкие и песчаные, протяжённость береговой линии 65 км. Дно преимущественно илистое. Озеро относится к слабопроточным водоемам (с коэффициентом относительного водообмена 0,0125). Впадающие в него притоки маловодны. Чаще всего зимой они перемерзают, а летом нередко не доходят до озера [1].

Озеро Гусиное подвержено значительному антропогенному воздействию. Наибольшее негативное влияние оказывают Гусиноозёрский промышленный узел, включающий ГРЭС, и Холбольджинский угольный разрез, расположенные на северном и северо-восточном берегах озера. В юго-западную часть озера поступают стоки поселка Гусиное озеро и локомотивного депо железнодорожной станции. Атмосферные выбросы ГРЭС составляют в среднем 830 т/год, а сброс теплых нормативно чистых сточных вод — 431 млн. м³ в 2016 г. [3].

Наиболее заметно на изменения климата и антропогенное воздействие реагируют малые озера. Донные отложения малых озер накапливают информацию даже о небольших климатических изменениях и о хозяйственной деятельности человека на озерных водосборах. Комплексное изучение донных осадков озер разной глубины и гидрологического режима, расположенных в различных ландшафтно-климатических зонах, дает основу для разнопериодных палеоклиматических реконструкций. Сопоставление данных по разным объектам позволит в будущем выявить тенденции изменения климата в отдельных частях крупного Азиатского региона [4]. Процесс формирования донных отложений в водоемах определяется различиями внутриводоёмных, гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических характеристик экосистемы, а также характером и интенсивностью антропогенной нагрузки. В связи с этим необходимо исследование гидрохимических показателей и пигментных характеристик водной толщи оз. Гусиное для оценки современного состояния водоема.

Цель настоящей работы — исследование современного макро- и микроэлементного состава и фотосинтетической активности водной толщи оз. Гусиное в подледный период — в период без непосредственного влияния аллохтонного вещества водосборной территории.

Воздействие Гусиноозерского промышленного узла и селитебной территории, расположенных на водосборной площади, отражается на макро- и микрокомпонентном составе вод оз. Гусиное. Антропогенное воздействие, связанное с избыточным поступлением органического вещества и биогенных элементов могут быть установлены и количественно оценены на основе анализа пигментных характеристик планктонных водорослей [5, 6], что характеризует индикаторную значимость растительных пигментов в мониторинге природных вод [7, 8].

Материал и методы исследований

В данной работе рассмотрены материалы полевых исследований, проведенных в подледный период 2018 г. Пробы воды отобраны батометром Паталаса в различных частях озера и на разных глубинах (рис. 1). В полевых условиях были произведены измерения температуры, рН, мутности, содержания растворенного в воде кислорода. рН определяли потенциометрическим методом, со стеклянным электродом (рН-метр ИТ-1101), растворенный кислород определяли портативным оксиметром HI 9147. Ионный состав воды определяли с помощью ионного

хроматографа Dionex ICS-1600. Минерализацию воды определяли расчетным путем как арифметическую сумму содержания всех определенных анализом ионов в мг/дм³.

Для многоэлементного ICP-анализа образцы отбирали в предварительно отмытые 0,5 л (ПЭТ) бутылки. Для определения растворенных форм элементов пробу фильтровали через мембранный фильтры с диаметром пор 0,45 мкм, а затем пробы фиксировали концентрированной азотной кислотой. Последующий анализ выполняли по ГОСТ Р 57165-2016 [9] на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Profile Plus (Teledyne, США). Для калибровки прибора использовали многоэлементные стандартные растворы для ICP IV-STOCK-1.

Для анализа на пигменты пробу воды объемом 2 л концентрировали на мембранных фильтрах «Владисарт». Концентрации пигментов в ацетоновых экстрактах оценивали стандартным спектрофотометрическим методом (ГОСТ 17.1.4.02-90, с изменениями от 13.07.2017) [10].

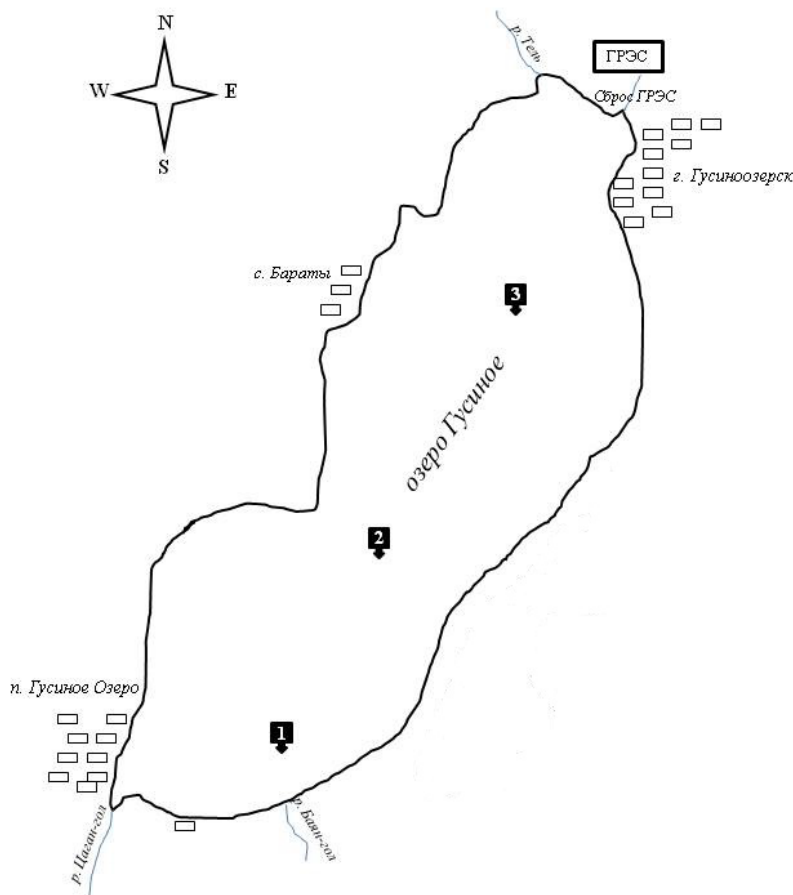


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб на акватории оз. Гусиное. Станция 1 (51°07'30.1"с.ш., 106°21'42.4"в.д.), глубина (гл.) 25 м, прозрачность воды (пр.) 4 м; станция 2 (51°10'12.3"с.ш., 106°23'20.1"в.д.), гл. — 21 м, пр. — 4 м; станция 3 (51°13'44.02"с.ш., 106°26'29.27"в.д.), гл. — 21 м, пр. — 8 м.

Результаты и их обсуждение

Хорошими экспресс-показателями, состояния водной среды, служат температура, рН, общая минерализация и концентрация растворенного кислорода в воде. Снижение рН, содержания кислорода и увеличение общей минерализации воды могут являться признаками эвтрофирования — накопления в водоеме органических веществ и биогенов, и о возможном экологическом неблагополучии [11].

Газовый режим в оз. Гусиное имеет свои особенности. Несмотря на использование озера в качестве водоема-охладителя ГРЭС, что часто приводит к нарушению газового режима, концентрация кислорода в воде находится на достаточно высоком уровне даже в подледный период (11,2-12,2 мг/дм³), что уже отмечалось ранее [12] и объясняется наличием высшей водной растительности, которая обогащает придонные слои воды кислородом. В результате чего, даже в зимний период насыщение им превышает 83%. рН среды в поверхностном слое (8,17-8,24) выше, чем в придонном слое (8,07-8,17), а вот окислительно-восстановительный потенциал выше в придонном слое воды, что влияет на содержание тяжелых металлов в придонном слое.

Анализ результатов химического анализа образцов поверхностных и придонных вод, отобранных в акватории оз. Гусиное показал, что в подледный период минерализация вод изменялась в пределах — 392-403 мг/дм³, с большими значениями у поверхности и меньшими в придонном слое. В придонном слое заметно некоторое повышение содержания сульфатов и ионов натрия вблизи юго-западного побережья в точке с наибольшей глубиной (станция 1), обусловленное поступлением подземных вод, проходящих через угленосные отложения. В целом, содержание ионов было несколько ниже в северной котловине (станция 3).

Преобладающими ионами в макрокомпонентном составе вод озера являются гидрокарбонат-ион (211-220 мг/дм³), сульфат-ион (56-61 мг/дм³), ионы натрия (51-55 мг/дм³) и кальция (28-30 мг/дм³). Содержание биогенных веществ в подледный период было минимальным — нитриты, аммоний и фосфаты находились ниже предела обнаружения, содержание нитратов изменялось в пределах 0,01-0,08 мг/дм³. Проведенные исследования показали, что воды озера по составу относятся к гидрокарбонатному классу группы натрия.

Сравнение результатов гидрохимических исследований за многолетний период исследований озера [1, 12, 13] показывает значительные изменения химического состава воды и концентрации главных ионов. С гидрокарбонатно-кальциевой вода в результате антропогенного воздействия изменилась на гидрокарбонатно-натриевую. Начало промышленной разработки Хольбоьджинского угольного разреза в 1965 г. и ввод в эксплуатацию Гусиноозерской ГРЭС в 1976 г. привели к значительному росту минерализации воды с соответствующим увеличением содержания ионов в макрокомпонентном составе, в особенности сульфат-ионов и щелочных металлов. Рост содержания сульфатов и натрия обусловлен поступлением в озеро карьерных вод угольного разреза, сбросов шахты «Гусиноозерская» и производственных стоков ГРЭС, влияние оказывают и карты золоотвалов, вблизи которых протекает протока р. Загустай — Тель. После прекращения сброса карьерных вод Хольбоьджинского

угольного разреза в 80-90-е годы наблюдалась стабилизация уровня воды и прекращение накопления сульфатов и щелочных металлов [12]. Предполагалось, что если не произойдет дальнейшего усиления антропогенного воздействия на водоем, содержание главных ионов в воде озера сохраниться на уровне 80-90-х гг. Однако, результаты проведенных исследований показывают, что накопление сульфатов и натрия продолжается.

Таблица 1
Состав главных ионов поверхностных вод акватории оз. Гусиное (мг/дм³)

станция	Горизонт, м	Cl-	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	сумма ионов
Ст.1	0	8,1	60,8	222,7	54,9	3,5	15,9	30,2	400,0
	дно	7,9	58,2	219,6	54,9	3,6	15,8	28,8	392,7
Ст.2	0	7,7	58,3	222,7	52,7	3,3	15,5	29,2	392,2
	дно	7,4	55,9	213,5	51,1	3,2	15,0	28,4	375,1
Ст.3	0	8,0	60,6	225,7	54,7	3,7	15,9	30,4	402,5
	дно	7,7	57,7	210,5	51,3	3,0	15,0	28,4	377,1
1958* (июнь)		6,0-7,0	7,6-8,1	153-174	12,0-12,5		10,3-12,4	30,2-34,0	220-247
1974* (февраль)		4,0-4,8	18,0-21,7	169-179	21,7-27,3		8,0-12,6	26,3-31,3	254-271
1974* (июнь)		3,2-3,8	8,4-12,2	148-159	21,9-23,8		3,1-4,5	32,0-35,7	225-268
1991-1992**		8-12	32-38	175-183	36-43		10-12	29-32	232-338

* — по данным работы [13],** — по данным работ [1, 12]

Среди компонентов химического состава поверхностных вод соединения металлов занимают одно из важных положений. Это обстоятельство обусловлено их специфическими свойствами в водной среде: поливалентностью, высокой реакционной способностью, благодаря которым металлы участвуют практически во всех физико-химических, химических и биологических процессах, протекающих в водных объектах. Разнообразие природных условий водосборного бассейна в сочетании с техногенным воздействием определяет уровень содержания и пространственные различия в распределении растворенных форм химических элементов в воде.

Химический состав озерных вод находится в прямой зависимости от состава пород, слагающих водосбор и ложе озера, поскольку формируется в результате выщелачивания кристаллических пород водосбора под влиянием климатических и антропогенных условий, а также внутриводоемных процессов, обусловленных изменением кислотности воды, степенью эвтрофирования водоема и другими факторами [14]. Сравнение полученных данных с ранее проведенными исследованиями [12] показывает, что за последние 25 лет содержание железа, цинка, меди, марганца, свинца и кадмия с тех времен в озере значительно увеличилось (табл. 2.). Наблюдающееся накопление данных элементов в первую очередь связано с антропогенным влиянием на озеро населенных пунктов, сточных вод золоотвалов и сбрасываемых теплых вод с ГРЭС.

Таблица 2
Содержание некоторых элементов в воде оз. Гусиное, мкг/дм³

Участок озера	Элементы											
	Fe		Zn		Cu		Mn		Pb		Cd	
Северная котловина	<u>4,8</u>	<u>8,3</u>	<u>0,5</u>	<u>12,3</u>	<u>1,2</u>	<u>14,3</u>	<u>2,0</u>	<u>13,9</u>	<0,1	<u>10,8</u>	<0,05	<u>13,6</u>
	6,4	5,8	1,5	13,0	1,9	14,4	6,6	13,7		15,4		13,6
Средняя часть	<u>3,5</u>	<u>7,3</u>	-	<u>12,1</u>	<u>0,6</u>	<u>13,8</u>	<u>2,7</u>	<u>14,0</u>	<0,1	<u>10,8</u>	<0,05	<u>13,4</u>
	3,8	6,7		13,5	0,7	13,7	2,4	13,9		17,6		13,6
Южная котловина	<u>1,7</u>	<u>8,3</u>	<u>0,2</u>	<u>13,9</u>	<u>0,4</u>	<u>15,0</u>	<u>2,1</u>	<u>13,8</u>	<0,1	<u>16,5</u>	<0,05	<u>13,5</u>
	1,6	10,6	1,1	13,4	0,5	14,6	1,2	24,3		12,9		13,4

В числителе — поверхностный слой воды, в знаменателе — придонный. В первом столбце данные за 1991-1992 гг [12], во втором столбце собственные данные.

Сравнительный анализ микроэлементного состава воды на разных глубинах оз. Гусиное, проведенный нами ранее, показал, что максимальные концентрации элементов наблюдаются в придонном слое [15]. Результаты определения содержания 10 микроэлементов в пробах поверхностных и придонных вод представлены на рис. 2. Полученные данные показывают наибольшие концентрации суммы микроэлементов в придонном слое, что связано с изменением окислительно-восстановительного потенциала в зимний период, способствующего переходу элементов в растворимые формы. Таким образом, донные отложения выступают как источник вторичного поступления элементов сначала в поровые воды, а затем — и в поверхностные. Наибольшее по акватории озера содержание суммы элементов было зафиксировано в самом глубоком месте озера на станции № 1 (рис. 2).

Состояние пигментных характеристик планктонных водорослей в водной толще оз. Гусиное представлено в табл. 3. Использование в качестве характеристик физиологического состояния фитопланктона содержания феофитина, индекса Маргалефа (*I*) и соотношения каротиноиды/хлорофилл *a* позволяет более полно оценить процессы, происходящие в сообществе фотосинтетиков.

Содержание хлорофилла *a* в озере меняется от 0,5 до 1,9 мг/м³, хлорофилла *b* — 0,51-0,58 мг/м³. Значения пигментного индекса, изменяющиеся в узких пределах (2,7–2,9), а также низкие показатели феопигментов свидетельствуют об активном функционировании фитопланктона. При высоком обилии водорослей значения пигментных индексов и относительное содержание феопигментов снижаются за счёт присутствия в фитопланктоне жизнеспособных активных клеток [16].

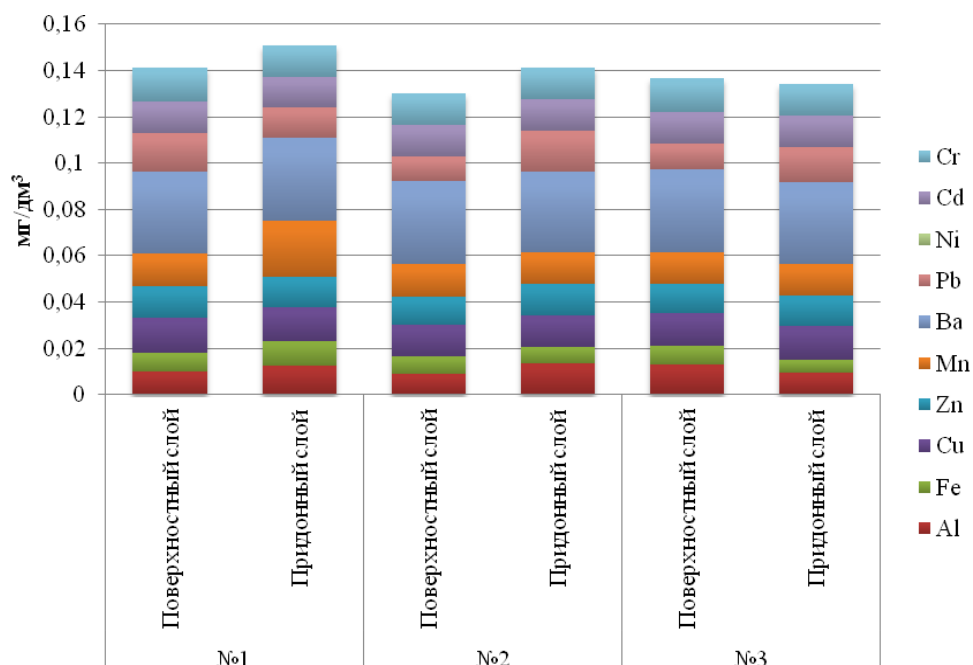


Рис. 2. Содержание микроэлементов в поверхностном и придонном слоях воды озера Гусиное, мг/дм³.

Увеличение концентрации хлорофилла *a* над каротиноидами связано с преобладанием сине-зеленых водорослей. Установлена небольшая связь между содержанием Хл *a* и суммой каротиноидов (рис. 3, А). Выявлена устойчивая обратная связь между величинами пигментного индекса и содержанием Хл *a* в планктоне (рис. 3, Б).

Вертикальное соотношение пигментов показывает, что по первой станции (табл. 3) происходит постепенное нарастание содержания хлорофилла *a* от поверхностного слоя до дна. По второй и третьей станциям увеличение концентрации хлорофилла *a* отмечается в зоне прозрачности. Большое содержание хлорофилла *a* в придонных слоях воды свидетельствует о постепенной седиментации хлорофилла [17]. Хлорофилл *b* и *c* и каротиноиды практически равномерно распределены по толще воды станций 1 и 2. По третьей станции — содержание каротиноидов в поверхностном горизонте воды выше среднего значения по станции отбора.

Таблица 3

Содержание фотосинтетических пигментов в пробах воды озера Гусиное (мкг/л)

№ стан-ции	Горизонт, м	C_{xa}	C_b	$C_{фа}$	C_{c1+c2}	C_k (син-зел)	C_k (диатом)	I
1	0	1,28	0,534	0,152	0,676	1,46	1,88	2,7
	8	1,62	0,570	0,053	0,835	1,61	1,12	2,6
	24	1,89	0,563	-0,135	0,896	1,48	1,83	2,4
	Σ	1,60±0,76	0,556±0,047	0,070±0,023	0,802±0,282	1,52±0,20	1,61±1,06	2,6±0,35
2	0	0,46	0,510	0,303	0,814	0,98	1,50	2,9
	8	1,27	0,518	-0,041	0,712	1,19	1,58	2,7
	20	0,73	0,506	0,274	0,744	1,13	1,45	2,7
	Σ	0,823±1,25	0,511±0,02	0,179±0,05	0,757±0,16	1,1±0,33	1,51±0,20	2,8±0,43
3	0	0,869	0,551	0,257	0,750	1,25	1,63	2,8
	4	0,651	0,533	0,032	0,575	0,71	1,08	2,7
	8	0,981	0,570	-0,121	0,643	0,82	1,18	2,7
	16	0,789	0,582	0,073	0,611	0,91	1,18	2,7
	20	0,927	0,516	0	0,626	0,92	1,25	2,7
	Σ	0,843±0,36	0,550±0,07	0,048±0,038	0,641±0,18	0,92±0,56	1,26±0,59	2,74±0,08
ΣΣ	1,043±0,29	0,541±0,02	0,077±0,01	0,717±0,07	1,133±0,198	1,425±0,19	2,720±0,09	

Σ — среднее по станции; ΣΣ — среднее по всем станциям; C_{xa} — концентрация хлорофилла a с поправкой на присутствие феофитина a ; C_b — концентрация хлорофилла b ; $C_{фа}$ — концентрация феофитина a ; C_k — концентрация каротиноидов; C_{c1+c2} — концентрация хлорофиллов $c1$ и $c2$; I — пигментный индекс.

Соотношение пигментов дает представление о сбалансированности продукционных и деструкционных процессов в планктоне, позволяет дифференцировать изменения состава доминирующих групп фитопланктона, его физиологическое состояние [6, 17]. Соотношение пигментов в воде оз. Гусиное показывает, что более 50% составляют каротиноиды и хлорофилл a (рис. 4).

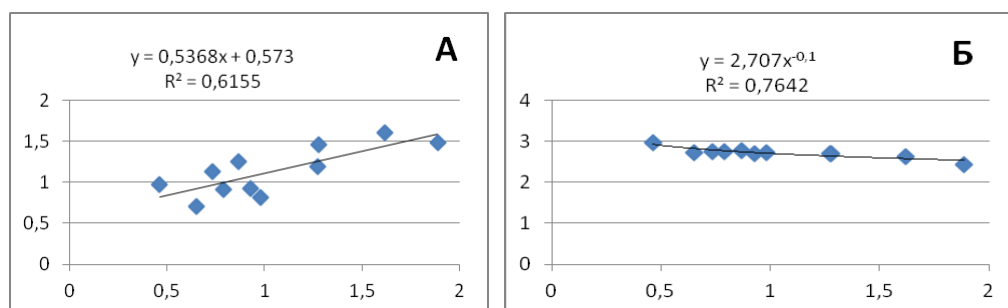


Рис. 3. Изменение содержания растительных каротиноидов (А) и пигментного индекса (Б) в воде оз. Гусиное (мг/м³)

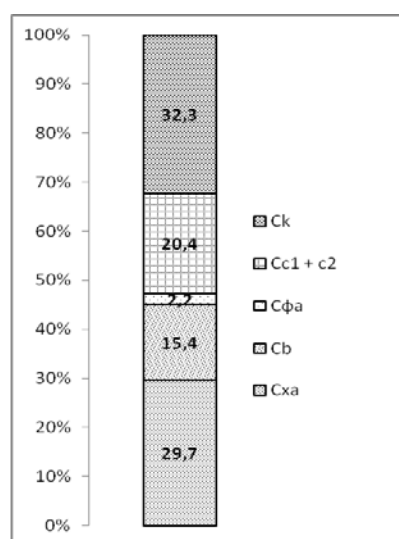


Рис. 4. Соотношение пигментов планктона в оз. Гусиное

Следовательно, фитопланктон в основном представлен диатомовыми и сине-зелеными водорослями

Таким образом, проведено исследование современного макро-и микроэлементного состава и фотосинтетической активности водной толщи оз. Гусиное в подледный период — в период без непосредственного влияния аллохтонного вещества водосборной территории. Анализ результатов химического анализа образцов поверхностных и придонных вод, отобранных в акватории оз. Гусиное показал, что в подледный период минерализация вод изменялась в пределах — 392-403 мг/дм³, с большими значениями у поверхности и меньшими в придонном слое. В придонном слое заметно небольшое повышение содержания сульфатов и ионов натрия и суммы микроэлементов вблизи юго-западного побережья в точке с наибольшей глубиной, обусловленное поступлением подземных вод, проходящих через угленосные отложения. Фитопланктон в период наблюдений обладал высокой фотосинтетической и продукционной активностью, на что указывают полученные результаты по концентрации хлорофилла *a*, феофитина *a*, индекса Маргалефа и соотношение каротиноиды/хлорофилл *a*, характеризующие физиологическое состояние фитопланктона.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018-2020 гг. (проект № 0339-2018-0001) и проекта РФФИ № 17-05-00822.

Литература

1. Борисенко И.М., Пронин Н.М., Шайбонов Б.Б. Экология озера Гусиное. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1994. — 199 с
2. Писарский Б.И., Хардина А.М. Гидрохимическая эволюция Гусиного озера (Западное Забайкалье) // География и природные ресурсы. — 2005. — № 2. — С. 52-56.

3. Государственный Доклад "О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2016 году" [Электронный ресурс] / Интернет-сайт Минприроды России. — Режим доступа: <http://geol.irk.ru/baikal>.
4. Птицын А.Б., Чу Г., Дарьин А.В. и др. Скорость седиментогенеза в озере Арахлей (Центральное Забайкалье) по радиогеохимическим и палинологическим данным // Геология и геофизика. — 2014. — Т. 55, № 3. — С. 473-480.
5. Котовщиков А. В., Кириллова Т. В., Третьякова Е. И. Оценка экологического состояния реки Оби в районе г. Барнаула на основе пигментных характеристик фитопланктона // Мир науки, культуры, образования. — 2010. — № 1 (20). — С. 105-110.
6. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. — М.: Наука, 2004. — 158 с.
7. Foy R.H. A comparison of chlorophyll-a and carotenoid concentrations as indicators of algal volume // *Freshwater Biology*. — 1987. — № 17. — P. 237-250.
8. Ляшенко О.А. Растительные пигменты как показатели биомассы фитопланктона в мелководном эвтрофном озере // Проблемы региональной экологии. — 2004. — № 5. — С. 6-14.
9. ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007) Вода. Определение содержания элементов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. — М.: Стандартинформ, 2018. — 31 с.
10. ГОСТ 17.1.4.02-90. Межгосударственный стандарт. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. — М.: Изд-во стандартов. — 1999. — 15 с.
11. Колобов М.Ю. Результаты гидрохимического анализа поверхностных вод озера Байкал в июне-июле 2017 года (центральный бассейн). — М., 20.12.2017 Режим доступа: http://hydro.bio.msu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=262&Itemid=58.
12. Домышева В.М., Синюкович В.Н., Ходжер Т.В. Водный режим и гидрохимия Гусиного озера в современный период // География и природные ресурсы. — 1995. — № 2. — С. 73-80.
13. Обожин В.Н., Богданов В.Т., Кликунова О.Ф. Гидрохимия рек и озер Бурятии. — Новосибирск: Наука, 1984. — 150 с.
14. Кремлева Т.А., Моисеенко Т.И., Хорошавин В.Ю., Шавнин А.А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав // Вестник Тюменского государственного университета. — 2012. — № 12. — С. 80-89.
15. Цыдыпов Б.З., Андреев С.Г., Аюржанаев А.А. и др. Влияние сбросов Гусиноозерской ГРЭС на термический и гидрохимический режим озера Гусиное // Изв. Иркутского государственного университета. — 2017. — Т. 22. — С. 135-150.
16. Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды // Водные ресурсы. — 2004. — № 4. — С. 475-480.
17. Корякина Е.А. Содержание хлорофилла в планктоне. Ивано-Арахлейские озера на рубеже веков (состояние и динамика). — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — С. 132.

FEATURES OF MACRO-AND MICROELEMENT COMPOSITION
AND PIGMENT CHARACTERISTICS OF PLANKTONIC ALGAE
IN LAKE GUSINOE DURING ICE-COVERED PERIOD

L. D. Radnaeva

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Laboratory
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
Buryat State University
E-mail: radld@mail.ru

V. G. Shiretorova

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
E-mail: vshiretorova@rambler.ru

G. T. Tsybekmitova

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Research Scientist
Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS
672014, Chita, Nedorezova, 16a
E-mail: gazhit@bk.ru

I. A. Pavlov

Candidate of Pharmaceutical Sciences, Research Scientist
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
E-mail: pavlov@binm.ru

S. G. Andreev

Candidate of Geographical Sciences, Senior Research Scientist
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
E-mail: baikal.andreev@gmail.com

E. T. Pintaeva

Candidate of Chemical Sciences, Research Scientist
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
E-mail: e-pintaeva@yandex.ru

E. Z. Garmaev

Doctor of Geographical Sciences, Professor of RAS
Director Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
E-mail: garend1@yandex.ru

A. K. Tulokhonov

Doctor of Geographical Sciences, Academician of RAS, Scientific Director
Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova st., 8
E-mail: aktulohonov@binm.ru

Bottom sediments of small lakes accumulate information even about small climatic changes and human economic activity in lake catchments. A comprehensive study of bottom sediments of lakes of different depths and hydrological regime, located in different landscape-climatic zones, provides the basis for different-period paleoclimatic reconstructions. The bottom sediments formation process in water bodies is determined by the differences in the intrabasin hydrodynamic, hydrochemical and hydrobiological characteristics of the ecosystem, as well as the nature and intensity of the anthropogenic load. The purpose of this work is to study the current macro- and microelement composition and the Gusinoe lake's water mass photosynthetic activity during ice-covered period — the period without direct influence of allochthonous matter from the catchment area. The Gusinoe lake's surface and bottom waters chemical analysis results showed that the salinity

of water varied within — 392-403 mg/dm³ during ice-covered period, with large values at the surface and smaller in the bottom layer. The predominant ions in the macrocomponent composition of the lake's waters are bicarbonate-ion (211-220 mg/dm³), sulfate-ion (56-61 mg/dm³), sodium ions (51-55 mg/dm³) and calcium (28-30 mg/dm³). There is a noticeable increase in the content of sulfates and sodium ions in the bottom layer near the south-west coast at the point with the greatest depth, due to the influx of groundwater passing through the coal-bearing sediments. The content of biogenic substances during ice-covered period was minimal — nitrites, ammonium and phosphates were below the detection limit, the content of nitrates was changed in the range of 0.01-0.08 mg/dm³. 10 trace elements (Cr, Cd, Cu, Fe, Zn, Pb, Mn, Ba, Ni, Al) were determined and the highest concentrations of the sum of elements were observed in the bottom layer in the deepest place of the lake. Phytoplankton during the observation period had a high photosynthetic and production activity. This is indicated by the results obtained on the concentration of chlorophyll a, pheophytin a, Margalef index and the ratio of carotenoids/chlorophyll a, characterizing the physiological state of phytoplankton.

Keywords: lake Gusinoe; macrocomponents and microelements composition of water; chlorophyll; pigments; plankton; bottom sediments; hydrochemistry.