УДК 556.55(571.151)
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-3-619-633
EDN KXXESY

Лимнологические исследования озер Республики Алтай с использованием диатомового метода

[1]Попова Д.Н., [1]Левина С.Н., [1]Пестрякова Л.А., [2]Рудая Н.А.
[1]Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58
[2]Институт археологии и этнографии СО РАН
Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17
diananp-92@mail.ru, levina_sardan@mail.ru, lapest@mail.ru, nrudaya@gmail.com

Аннотация. Диатомовые водоросли, являясь биоиндикаторами изменений окружающей среды, представляют собой важный ресурс для оценки современного состояния озер. Однако для многих водоемов Республики Алтай подобные исследования ранее не проводились. Данная работа призвана заполнить этот пробел в знаниях, предоставляя репрезентативные данные, необходимые для проведения мониторинга, служащие основой для калибровки в палеоэкологических исследованиях. В основу исследования положен комплексный анализ морфометрических и физико-химических показателей 25 озер Республики Алтай, расположенных на различных гипсометрических уровнях. Морфометрический анализ выявил, что большинство озер на исследуемой территории – малые, с округлой береговой линией и овальными котловинами. Глубины распределены неравномерно, с максимальной отметкой 323 м (озеро Телецкое). Воды в основном пресные, мягкие и слабощелочные, гидрокарбонатного класса, кальциевой группы. Для характеристики современного состояния водоемов и его влияния на биоту особое внимание уделено диатомеям из поверхностного слоя донных отложений (0–1 см) как индикаторной группе гидробионтов. В результате исследования было выявлено 219 видов водорослей (в т.ч. 6 разновидностей и форм), относящихся к 80 родам, 32 семействам, 15 порядкам и трем классам отдела *Bacillariophyta*. Наиболее многочисленным оказался класс *Bacillariophyceae*.

Ключевые слова: диатомовый анализ, поверхностные донные отложения, палеолимнология, Республика Алтай, озера, гидрохимия, морфометрия озер

Благодарности. Работа выполнена при поддержке НИР № FWZG-2025-0005 «Природные условия обитания древнего человека в четвертичном периоде Евразии» (Рудая Н.А. работала в рамках этого проекта) и по проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по заданию FSRG-2023-0027.

Для цитирования: Попова Д.Н., Левина С.Н., Пестрякова Л.А., Рудая Н.А. 2026. Лимнологические исследования озер Республики Алтай с использованием диатомового метода. Региональные геосистемы, 50(3): 619–633. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-3-619-633 EDN: KXXESY

Limnological Studies of Lakes in the Altai Republic Using the Diatom Method

[1]Diana N. Popova, [1]Sardana N. Levina, [1]Ludmila A. Pestryakova, [2]Natalia A. Rudaya
[1]M.K. Ammosov North-Eastern Federal University
58 Belinsky St., Yakutsk 677000, Russia
[2]Institute of Archeology and Ethnography SB RAS
17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
diananp-92@mail.ru, levina_sardan@mail.ru, lapest@mail.ru, nrudaya@gmail.com

© Попова Д.Н., Левина С.Н., Пестрякова Л.А., Рудая Н.А., 2026

Abstract. Diatoms, as bioindicators of environmental change, are an important resource for assessing the current state of lakes. However, similar studies have not previously been conducted for many water bodies in the Altai Republic. This study aims to fill this knowledge gap by providing representative data necessary for monitoring and serving as a basis for calibration in paleoecological studies. The study is based on a comprehensive analysis of the morphometric and physicochemical parameters of 25 lakes in the Altai Republic, located at different hypsometric levels. According to the morphometric analysis, most of the lakes in the study area are small, with rounded shorelines and oval basins, depths are unevenly distributed, with a maximum of 323 m (Lake Teletskoye). The waters are mostly fresh, soft and slightly alkaline, of the bicarbonate class, and of the calcium group. To characterize the current state of the water bodies and its impact on biota, special attention is paid to diatoms from the surface layer of bottom sediments (0–1 cm) as an indicator group of aquatic organisms. The study identified 219 algal species (including six varieties and forms) belonging to 80 genera, 32 families, 15 orders and three classes of the division *Bacillariophyta*. The class *Bacillariophyceae* turned out to be the most numerous. Among the diatom species under study, 27 were found to be dominant and 25 were subdominant. The ecological-geographical structure was characterized based on four groups of traits (diatom association with different biotopes, salinity, pH and geographic distribution). Cluster analysis of the relative abundance of diatoms revealed three distinct zones. These zones demonstrate differences in altitudinal zonation, diatom concentration, and habitat ecological characteristics.

Keywords: diatom analysis, surface bottom sediments, paleolimnology, Altai Republic, lakes, hydrochemistry, lake morphometry

Acknowledgements: The work was carried out with the support of research project No. FWZG-2025-0005 “Natural habitat conditions of ancient humans in the Quaternary period of Eurasia” (N.A. Rudaya worked within the framework of this project) and the project part of the state assignment in the field of scientific activity of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under assignment FSRG-2023-0027.

For citation: Popova D.N., Levina S.N., Pestryakova L.A., Rudaya N.A. 2026. Limnological Studies of Lakes in the Altai Republic Using the Diatom Method. Regional Geosystems, 50(3): 619–633 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-3-619-633 EDN: KXXESY

Введение

Республика Алтай – это регион Российской Федерации, расположенный в самом сердце Евразии, на юге Западной Сибири, в горах Южного Алтая. Этот край известен своей первозданной природой, богатым культурным наследием и широкими возможностями для туризма. Недаром его считают одним из самых экологически чистых уголков нашей страны. Особенно впечатляют многочисленные озера Алтая, особенно в его восточной части. Эти озера типичны для территорий, которые подвергались оледенению, поскольку большинство из них образовались в результате деятельности ледников в период позднего плейстоцена и голоцена [Шпилекова, 1980; Михайлов, 1994; Новиков, 2004].

Однако, несмотря на свою эстетическую ценность, высокогорные озера Алтая остаются недостаточно изученными с точки зрения их палеоэкологического потенциала. В научной литературе представлены отдельные исследования, посвященные либо на лимнологических [Селегей В.В., Селегей Т.С., 1974; Рождественская и др., 2008; Долматова, 2008, 2011; Фролова и др., 2011; Веснина и др., 2019; Бородина Е.В., Бородина У.О., 2019; Киприянова и др., 2024], либо на палинологических аспектах [Чернова и др., 1991; Blyakharchuk et al., 2004, 2007, 2008; Andreev et al., 2007; Schlutz, Lehmkuhl, 2007; Бляхарчук, 2008; Рудая, 2022; Karachurina et al., 2023]. Многие работы, посвященные изучению озер Республики Алтай, концентрируются на изучении отдельных компонентов экосистем, например, связанным с планктоном [Vnukovskay et al., 2024; Rudaya et al., 2025; и др.] либо диатомовым водорослям [Westover et al., 2006; Митрофанова, 2009; Митрофанова, Сутченкова, 2014; Бляхарчук и др., 2015].

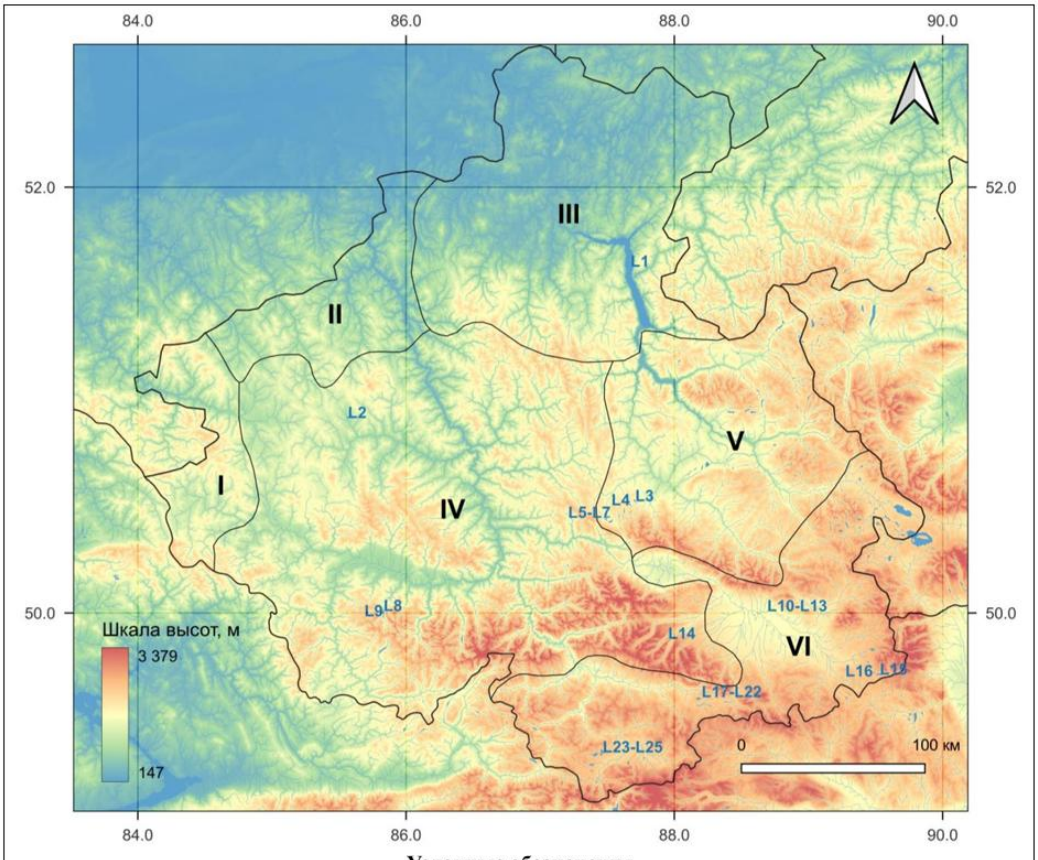
Целью данного исследования является анализ морфометрических и физико-химических характеристик озер, чтобы оценить их современное состояние и как оно влияет на уязвимые группы гидробионтов – диатомовые водоросли. Водоросли были обнаружены в верхнем слое донных отложений озер Республики Алтай. Анализ этих отложений позволяет

оценить масштабы и характер сравнительно недавних изменений окружающей среды, являющихся результатом естественных процессов и деятельности человека.

Практическая значимость исследования заключается в том, что его результаты могут быть применены для решения задач в области водопользования и для мониторинга окружающей среды. Кроме того, полученные данные могут служить основой для калибровки в палеоэкологических исследованиях.

Объекты и методы исследования

В рамках нашего исследования мы изучили 25 озер, расположенных в Республике Алтай на различных высотах над уровнем моря. В соответствии с общепринятым физико-географическим районированием Алтая, территория Республики Алтай разделена на шесть провинций. Изученные нами озера расположены в пределах четырех из этих провинций, как показано на рис. 1. Они простираются с севера на юг, начиная с 51°57’ с. ш., где находится озеро Телецкое (координаты 51.57366, 87.66541), и до 49°31’ с. ш., где расположено Безымянное-4 (координаты 49.310556, 87.473611). Абсолютные высоты озер варьируются от 430 м (Телецкое) до 2468 м (Верхние Богуты) над уровнем моря.



Условные обозначения

L1 – полевой номер озера

Физико-географические провинции:
III Северо-Восточная Алтайская провинция (С-ВА) – Телецкое (L1);
IV Центрально-Алтайская провинция (Ц-А) – Теньгинское (L2), Нижнее Мультинское (L8), Среднее Мультинское (L9), Акколь (L14);
V Восточно-Алтайская провинция (В-А) – Балыктукель (L3), Игистукель (L4), Сорулоколь (L5), Абчидон (L6), Талдукель (L7);
VI Юго-Восточная Алтайская провинция (Ю-ВА) – Кош-Агач 4 (L10), Кош-Агач 3 (L11), Кош-Агач 2 (L12), Кош-Агач 1 (L13), Верхние Богуты (L15), Баран-Куль (L16), Караколь-Нур (L17), Безымянное-1 (L18), Тархатинское (L19), Безымянное-2 (L20), Зерлюколь-Нур (L21), Тунгурюк (L22), Кальджин-Коль (L23), Безымянное-3 (L24), Безымянное-4 (L25).

Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных озер по провинциям Республики Алтай
Fig. 1. Map showing the location of the studied lakes in the provinces of the Altai Republic

Пробы донных отложений отбирали в период полевых работ 2019–2023 гг. Для этой публикации мы отобрали верхний полужидкий слой осадка (0–1 см) и проанализировали его с помощью диатомового метода. Техническая обработка проб и приготовление препаратов для микроскопии проведены по общепринятым методикам [Давыдова, 1985; Пестрякова и др., 2016; и др.].

Идентификацию таксонов и их систематизацию выполняли на основе классических и современных определителей [Забелина и др., 1951; Диатомовые водоросли…, 1992; Генкал и др., 2011; 2013; и др.], а также с помощью глобальной базы данных *AlgaeBase* для верификации и уточнения номенклатуры. Экологическая и географическая характеристика водорослей дана по Н.Н. Давыдовой [1985] с учетом системы Round, Crawford, Mann [1990].

Для статистической обработки результатов диатомового анализа мы использовали программу *TILIA 2*. В ней мы построили диаграмму и провели кластерный анализ методом *CONISS*. Процентные соотношения и визуализация данных осуществлялись в *Microsoft Excel 2016*. Карта района исследования была создана с использованием *QGIS 3.30.1-'s-Hertogenbosch*. Треугольные диаграммы ионного состава вод построены в программе *Grapher v25*.

В ходе исследований выполнен комплекс морфометрических измерений, позволивший охарактеризовать ключевые параметры озер: площадь водной поверхности, длина и ширина озера, а также протяженность береговой линии. Эти данные позволили рассчитать такие показатели, как удлиненность и степень развития (изрезанность) береговой линии. Озера были классифицированы по величине площади водного зеркала, согласно системе, предложенной П.В. Ивановым [1948]. Форма озерной котловины и их удлиненность были определены по методике С.В. Григорьева [1959]. Кроме того, озера были охарактеризованы по максимальным глубинам, используя классификацию С.П. Китаева [2007]. Ключевые физико-химические параметры воды были измерены непосредственно в полевых условиях с помощью портативного мультипараметрового прибора *HI198194 (Hanna Instruments)*.

Результаты и их обсуждение

Основные морфометрические характеристики изученных озер Республики Алтай представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Основные морфометрические параметры исследуемых озер
Main morphometric characteristics of the studied lakes

Характеристики озер		Группа озер по физико-географическим провинциям			
		III	IV	V	VI
		Северо-Восточная Алтайская	Центрально-Алтайская	Восточно-Алтайская	Юго-Восточная Алтайская
		(n = 1)	(n = 4)	(n = 5)	(n = 15)
Высота над уровнем моря, м		434	1102–2323 1672	1810–1925 1847	1760–**2468*** 2217
Площадь водной поверхности, км^2		**227,3**	0,7–1,8 1,2	0,3–3,3 1,4	0,1–3,9 0,9
Длина береговой линии, км		**192,8**	4,6–6,3 5,1	2,4–13,3 6,3	0,9–12,2 5
Длина озера, км		**78,6**	1,6–2,4 2	0,5–3,6 1,9	0,3–4,6 1,6
Ширина, км	средняя	**2,9**	0,3–0,9 0,6	0,6–0,9 0,7	0,2–1,1 0,4
	наибольшая	**5,2**	0,4–1,2 0,8	0,9–1,3 1,1	0,2–2,4 0,6
Наибольшая глубина, м		**323**	7,2–22 15	12,5–28,6 18,7	1,2–43 12,01
Показатель удлиненности		**27,2**	1,9–7,3 3,9	0,9–3,9 2,6	0,9–13,3 3,7
Изрезанность береговой линии		**3,6**	1,1–1,7 1,4	1,3–2,1 1,5	0,8–2,7 1,5

Примечание: здесь и далее для каждого показателя в числителе указан разброс значений от минимума до максимума, а в знаменателе – их среднее значение. Жирным шрифтом на сером фоне отмечены максимальные показатели по выборке.

Среди исследованных озер выделяется Телецкое озеро, расположенное в Северо-Восточной Алтайской провинции. Это одно из крупнейших озер региона, имеющее тектоническое происхождение [Михайлов, 1994]. Его площадь составляет 227,3 км², а максимальная глубина достигает 323 м. Из-за своих внушительных размеров морфометрические характеристики Телецкого озера значительно превосходят показатели других озер, что создает большой разброс данных в общей выборке.

В соответствии с классификацией П.В. Иванова [1948], из изученных озер 15 (60 %) можно отнести к категории «очень малых», а 9 (36 %) – к «малым» (табл. 2). К «большим» относится только озеро Телецкое.

Таблица 2
Table 2

Классификация озер по морфометрическим параметрам
Classification of lakes by morphometric parameters

Показатель водоема	Группа озер			
	III	IV	V	VI
	Северо-Восточная Алтайская	Центрально-Алтайская	Восточно-Алтайская	Юго-Восточная Алтайская
	(n = 1)	(n = 4)	(n = 5)	(n = 15)
По величине площади водного зеркала (по П.В. Иванову)				
Большие (от 100,1 до 1000 км²)	**1**	–	–	–
Малые (от 1,0 до 10 км²)	–	**2**	**3**	4
Очень малые (от 0,1 до 1,0 км²)	–	**2**	2	**11**
По максимальной глубине (по С.П. Китаеву)				
С очень большой (> 50 м)	**1**	–	–	–
С большой (от 25 до 50 м)	–	–	1	3
С повышенной (от 12,5 до 25 м)	–	**3**	**4**	–
Со средней (от 6,25 до 12,5 м)	–	1	–	4
С малой (от 3,12 до 6,25 м)	–	–	–	2
С очень малой (< 3,12 м)	–	–	–	**6**
По коэффициенту удлиненности ($К_{удл}$) (по С.В. Григорьеву)				
Вытянутая (> 10,0)	**1**	–	–	1
Удлиненная (7,0–10,0)	–	1	–	–
Овально-удлиненная (5,0–7,0)	–	–	–	2
Близкая к овалу (3,0–5,0)	–	**2**	**2**	**5**
Близкая к кругу (1,5–3,0)	–	1	**2**	4
Округлая (< 1,5)	–	–	1	3
По степени развития береговой линии				
Слабоизрезанная (2,0–6,0)	**1**	-	1	2
Округлая (< 2,0)	–	**4**	**4**	**13**

Согласно классификации С.П. Китаева [2007], озера с максимальной глубиной от 1,2 до 323 м разделяются на шесть групп. Распределение озер по категориям глубины оказалось неравномерным (см. табл. 2).

По классификации С.В. Григорьева [1959], среди озерных котловин преобладают водоемы, близкие по форме к овалу (36 %) и окружности (28 %). За ними следуют озера с округлой формой (16 %). В значительно меньшей степени встречаются озера овально-удлиненной формы и вытянутые в виде «борозды» (по 8 %), а удлиненной формой всего 4 %.

Большинство озер имеют округлую береговую линию с коэффициентом изрезанности < 2, что составляет 84 %. Остальные 16 % обладают слабоизрезанной береговой линией.

В целом, для озер, расположенных в Центрально-Алтайской, Восточно-Алтайской и Юго-Восточной Алтайской провинциях, характерны следующие особенности: 1) они

находятся на значительной высоте над уровнем моря (от 1102–2468 м); 2) имеют относительно небольшие площади водного зеркала, классифицируясь как «малые» и «очень малые»; 3) их форма близка к овалу, а коэффициент удлиненности небольшой; 4) степень развития береговой линии можно описать как «округлая».

Результаты физико-химических исследований продемонстрировали широкий диапазон минерализации воды в изученных точках – от 39,65 (Балыктукель) до 438 мг/л (Абчидон-1). По степени минерализации пробы распределились следующим образом: 40 % вод были отнесены к категории с очень малой, 30 % – к малой и 21 % – к средней минерализации. Для 9 % объектов (озера Акколь, Верхние Богуты и Баран-Куль) данные о минерализации отсутствуют.

Согласно классификации О.А. Алекина [1970], воды исследованной территории в целом относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. К этому типу принадлежит вода озера Телецкое (С-ВА), а также 67 % вод Центрально-Алтайской, 100 % – Восточно-Алтайской и 93 % – Юго-Восточной Алтайской провинций.

В соответствии с классификацией характеристик вод по Курлову [1928], 31 % исследованных проб воды можно отнести к ультрапресным, а 60 % – пресным. Для 9 % объектов данные отсутствуют.

Результаты измерений показали, что водородный показатель (*pH*) в исследованных пробах варьировался в диапазоне от 6,1 до 8,8. Преобладали слабощелочные (49 %) и щелочные (39 %) воды, а слабокислая среда была зафиксирована лишь в одной пробе. Для 9 % проб данные отсутствуют.

В ходе исследования была проанализирована общая жесткость воды. Исследование показало, что по общей жесткости 36 % проб относятся к очень мягкой воде, 49 % – к мягкой и 6 % – к воде средней жесткости. Данные по оставшимся 9 % озер отсутствуют.

Что касается ионного состава, то в структуре катионов можно выделить несколько важных элементов (рис. 2).

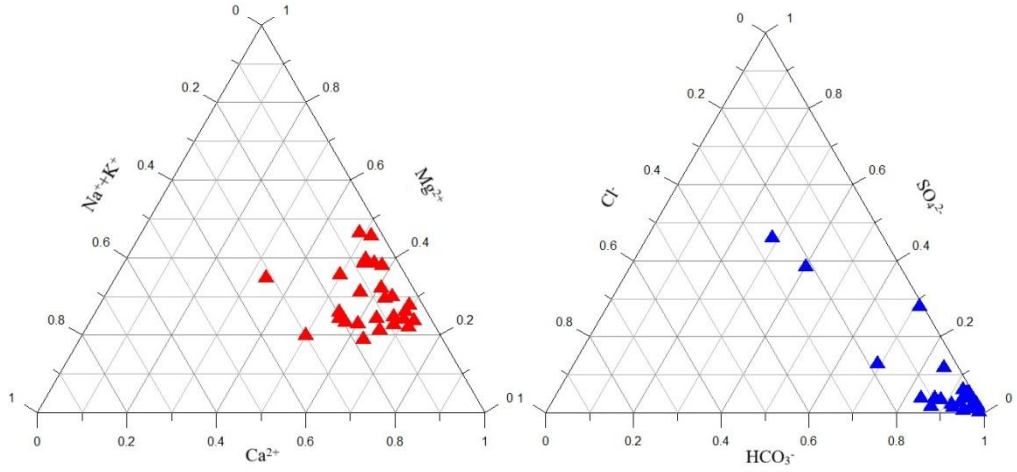


Рис. 2. Катионный и анионный состав вод исследуемых озер
Fig. 2. Cationic and anionic composition of the waters of the studied lakes

Ионы кальция в озерах варьируют в диапазоне от 0,45 в Балыктукель-2 до 42 мг/л в Теньгинское. Ионы магния изменяются от 0,19 в Балыктукель-2 до 40 мг/л в Теньгинское. Суммарная доля ионов натрия и калия колеблется от 0,66 в Балыктукель-2 до 69,15 в Кош-Агач-1.

В структуре анионов можно выделить несколько ключевых компонентов. Содержание хлорид-ионов в пробах варьирует от 0,16 в Караколь-Нур-4 до 40,56 мг/л в Кош-Агач-1. Сульфат-ионы представлены в диапазоне от 0,94 в Безымянное-1 до

54,72 мг/л в Кош-Агач-4. Наконец, содержание гидрокарбонатов колеблется от 22 в Среднее Мультинское до 273,9 мг/л в Кош-Агач-1.

Для более глубокого понимания качества водной среды был проведен диатомовый анализ. Всего в донных отложениях 25 обследованных озер (33 точки отбора проб) идентифицировано 219 таксонов диатомовых водорослей (включая 6 разновидностей), относящихся к 80 родам, 32 семействам, 15 порядкам и 3 классам отдела *Bacillariophyta*. Самым многочисленным классом является класс *Bacillariophyceae*, на долю которого приходится 89 % видового богатства от всей выборки. В этом классе зарегистрировано 11 порядков, 28 семейств, 70 родов, 194 вида и разновидности.

Наиболее распространенными семействами в исследованных озерах являются *Achnanthidiaceae*, насчитывающее 10 родов, *Cymbellaceae* с 9 родами и *Stephanodiscaceae* с 6 родами. Другие классы значительно уступают описанному выше классу. Распределение видового богатства диатомовых водорослей в исследуемых озерах представлено на рис. 3.

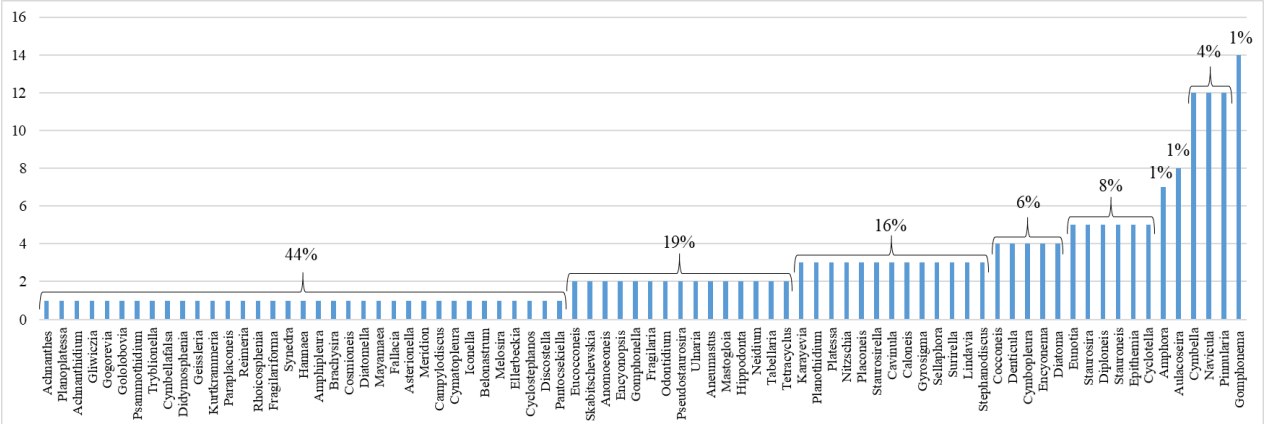


Рис. 3. Распределение видового богатства диатомовых водорослей по родам
Fig. 3. Distribution of diatom species abundance by genera

Среди выявленных доминантных (27 видов) и субдоминантных (25 видов) форм диатомей наиболее значительную роль в исследованных озерах играют несколько видов. Абсолютным доминантом является *Staurosira venter*, отмеченный в 16 озерах (20 точках отбора) с наибольшим показателем 81,13 % в точке L13. Виды *Staurosirella pinnata* в 6 озерах (8 пробах) с максимумом 33,14 % в точке L17-1, *Pseudostaurosira brevistriata* в 3 озерах (4 пробах) с пиком 30,96 % в точке L2-2, и *Staurosira construens* (максимум 32,09 % в озере L24) в 3 озерах и 4 точках.

Количественные данные по экологическим предпочтениям местообитаний в исследованных озерах (табл. 3) свидетельствуют о том, что в изученных диатомовых комплексах количество видов обрастателей значительно преобладает над донными и планктонными формами (59 %). Далее следует группа планктонных видов (22 %), а донные виды занимают 19 % во флоре.

Анализ показал крайне высокую вариабельность концентрации диатомовых створок в донных отложениях. Максимальная концентрация створок диатомей (6504 млн ств./г) зафиксирована в осадках Теньгинского озера, минимальный показатель обнаружен в озере Кош-Агач-3 (3 млн ств./г).

По отношению к температурным условиям среди флоры преобладают космополитные виды, составляющие 62 %. Далее следуют бореальные виды, занимающие 20 %, и арктоальпийские холодноводные формы, представленные 12 % флоры. В озере 1 Балыктукель космополитные виды достигают до 91 %, что свидетельствует о широком диапазоне температур, в то время как в озере 3 Абчидон доля бореальных видов возрастает до 73 %.

Таблица 3
Table 3

Эколого-географическая характеристика флоры диатомовых комплексов
Ecological and geographical characteristics of the flora of diatom complexes

Группы	Группа озер							
	III		IV		V		VI	
	Северо-Восточная Алтайская		Центрально-Алтайская		Восточно-Алтайская		Юго-Восточная Алтайская	
	(n = 2)		(n = 5)		(n = 10)		(n = 16)	
	1*	2*	1	2	1	2	1	2
По отношению к местообитанию								
донные	25	6	34	7	38	33	44	16
обрастатели	**53**	**54**	**52**	**72**	**44**	29	**48**	**73**
планктонные	22	40	14	21	18	**38**	8	11
По отношению к солености								
мезогалобы	–	–	2	1	2	1	1	1
галофилы	6	5	6	2	10	1	6	2
индифференты	**59**	**66**	**70**	**87**	**67**	**89**	**66**	**92**
галофобы	10	4	7	5	7	6	9	1
с неясной экологией	25	25	15	5	14	3	18	4
По отношению к *pH*								
алкалибионты	8	4	11	5	9	1	7	3
алкалифилы	**47**	29	**36**	**65**	**48**	**77**	**44**	**85**
нейтрофилы	14	**41**	26	19	20	17	22	6
ацидофилы	4	1	8	3	3	1	7	1
ацидобионты	–	–	1	1	–	–	–	–
с неясной экологией	27	25	18	7	20	4	20	5
По биогеографическому предпочтению								
арктоальпийские	14	8	15	14	12	23	12	5
бореальные	25	10	33	17	**37**	25	**37**	19
космополитные	**36**	**57**	**35**	**62**	**37**	**49**	33	**71**
с неясной географией	25	25	17	7	14	3	18	5

Примечание: * – доля в % по числу видов; ** – доля в % по численности створок.

Большинство видов (89 %) не чувствительны к солености. 5,5 % флоры не имеют четкой экологии, 3,2 % составляют галофобы, 2,3 % – галофилы, а доля мезогалобов незначительна.

Что касается реакции на водородный показатель (*pH*), то информация доступна для 93,7 % флоры диатомей. Среди них преобладают алкалифилы (76,2 %), за которыми следуют нейтрофилы (13,6 %). Доля алкалибионтов (2,8 %), ацидофилов (1 %) и ацидобионтов (0,06 %) незначительна.

Результаты кластерного анализа относительной численности диатомовых водорослей, проведенного с использованием метода *CONISS*, позволили выделить три зоны (I–III). Эти зоны различаются по высотному распределению, концентрации диатомовых водорослей и экологическим характеристикам местообитаний (рис. 4).

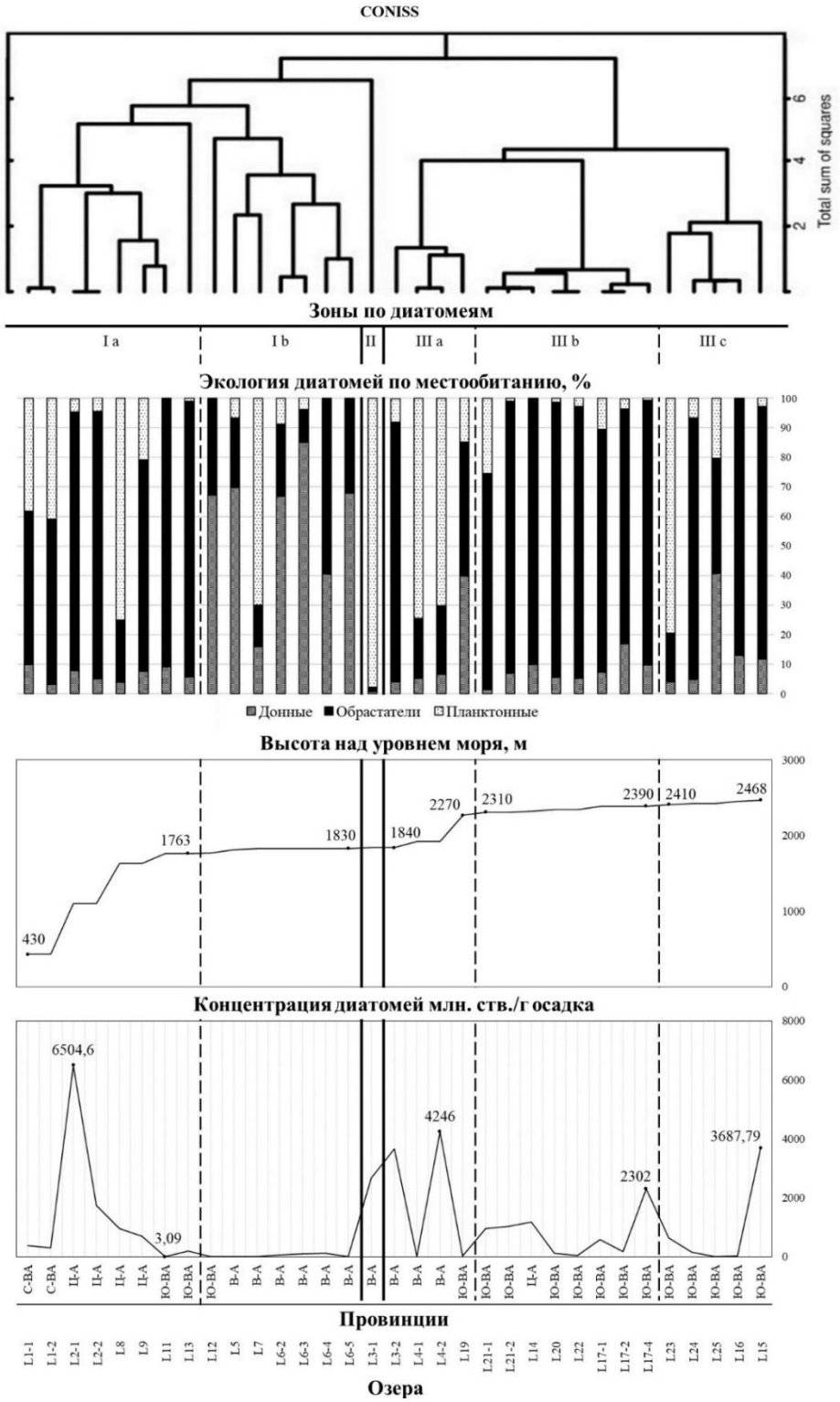


Рис. 4. Зонирование диатомовых комплексов изученных озер
Fig. 4. Zonation of diatom complexes of the studied lakes

Диатомовая зона I охватывает озера, расположенные на высотах в пределах от 430 до 1830 м н.у.м. В этой зоне наблюдаются озера с диатомовыми комплексами средней концентрации 740,8 млн створок на грамм осадка. В пределах этой зоны находится точка L2-1, где концентрация диатомей достигает своего максимума – 6504,6 млн створок/г. Среди видового состава по численности створок преобладают обрастатели, такие как *Staurosira venter* и *Achnanthidium minutissimum*, а также донный вид *Ellerbeckia arenaria*.

Зона I делится на две подзоны. Подзона Ia включает озера Северо-Восточно-, Центрально- и Юго-Восточно-Алтайской провинций, где наблюдаются самые высокие концентрации диатомей. В отличие от нее, в подзона Ib, представленная преимущественно пробами из Восточно-Алтайской провинции, характеризуется значительно низкими концентрациями, составляющими в среднем 44,9 млн створок /г.

Вторая зона (II) охватывает только одну точку L3-1, расположенную на высоте 1840 м н.у.м. Она выделяется высокой концентрацией диатомовых водорослей, составляющей 2671 млн створок/г, и абсолютным доминированием планктонного вида *Aulacoseira alpigena* (89,6 %).

Третья зона, охватывающая 17 точек, была разделена на три подзоны: IIIa, IIIb, IIIc. В этих подзонах средняя концентрация диатомей составляет 1111,3 млн створок/г, а высоты варьируются от 1840 до 2468 м. Преобладают виды-обрастатели, такие как *Staurosira venter, Staurosirella pinnata* и *Staurosira construens*. Она включает преимущественно озера Восточно-Алтайской провинции, что контрастирует с подзонами IIIb и IIIc, где преобладают обрастатели, а озера преимущественно находятся в Юго-Восточной Алтайской провинции.

Заключение

Таким образом, по морфометрическим параметрам среди изученных озер 60 % относятся к категории «очень малые», 36 % – к «малые». Наиболее многочисленны озера с повышенной (24 %) и очень малой (20 %) глубиной. По озерным котловинам доминируют озера с формой, близкие к овалу (36 %) и близкие к окружности (28 %). Большинство озер характеризуются округлой береговой линией.

По таксономическому составу было зарегистрировано 219 видов диатомовых водорослей, которые относятся к 80 родам, 32 семействам, 15 порядкам и трем классам. Самым многочисленным классом является класс *Bacillariophyceae*. Наиболее распространенным семейством в исследованных озерах является *Achnanthidiaceae* (10 родов), *Cymbellaceae* (9 родов) и *Stephanodiscaceae* (6 родов). В число доминантных форм вошли 27 видов, субдоминантных – 25 видов.

По экологическим предпочтениям местообитаний в исследованных озерах показывают, что в изученных диатомовых комплексах количество видов обрастателей значительно преобладает над донными и планктонными формами (59 %). По предпочтению к температурным условиям по количеству видов во флоре преобладают космополитные виды 62 %. По отношению к солености большинство видов индифферентны (89 %). Сведения по отношению к водородному показателю (*pH*) имеются для 93,7 % флоры диатомей с преобладанием алкалифилов (76,2 %).

Результаты физико-химических исследований показали, что минерализация воды в изученных озерах варьировала в широком диапазоне – от 39,65 до 438 мг/л. Воды исследованной территории в целом относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Характеристика вод по общей минерализации показала, что 31 % относятся к ультрапресным, а 60 % – к пресным. В ходе исследования водородный показатель (*pH*) изменяется от 6,1 до 8,8. Преобладали слабощелочные (49 %) и щелочные (39 %) воды. По общей жесткости воды преобладают озера (49 %) с мягкой водой.

В условиях глобальных изменений окружающей среды и климата, вызывающих обеспокоенность как научного сообщества, так и человечества в целом, возрастает потребность в прогнозировании состояния водных экосистем. Особую важность это имеет для пресноводных водоемов, выступающих ключевыми источниками питьевого водоснабжения. Для построения достоверных прогнозов необходимы данные об их исторической динамике. В этой связи все большее значение приобретают палеоэкологические исследования, позволяющие проводить долговременные реконструкции изменений, происходивших в водоемах на протяжении всего периода их существования. Полученные современные данные о состоянии озер послужат основой для калибровки таких палеореконструкций, повышая их точность и достоверность.

Список источников

Алекин О.А. 1970. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеоиздат, 444 с.

Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1951. Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. М., Советская наука, Вып. 4, 620 с.

Пестрякова Л.А., Николаев А.Н., Субетто Д.А., Фролова Л.А., Бобров А.А., Городничев Р.М. 2016. Палеоэкология. Методологические основы палеоэкологии. Якутск, Северо-Восточного федерального университета, 84 с.

Список литературы

Бляхарчук Т.А. 2008. Реконструкция лесной и высокогорно-степной растительности юго-западной части Тувы с позднеледниковья до современности. География и природные ресурсы, 1: 89–96.

Бляхарчук Т.А., Митрофанова Е.Ю., Эйрих А.Н. 2015. Комплексные палеоэкологические исследования донных отложений озера Манжерокское в предгорьях Алтая. Труды Карельского научного центра РАН, 9: 81–99. https://doi.org/10.17076/lim166

Бородина Е.В., Бородина У.О. 2019. Формирование химического состава озерных вод особо охраняемых территорий горного Алтая на примере бассейна р. Мульты. Водные ресурсы, 46(4): 405–416. https://doi.org/10.31857/S0321-0596464405-416

Веснина Л.В., Лукерина Г.В., Ронжина Т.О. 2019. Результаты многолетнего экологического мониторинга гипергалинного озера Большое Яровое, г. Славгород Алтайского края. Рыбное хозяйство, 4: 19–27.

Генкал С.И., Бондаренко Н.А., Щур Л.А. 2011. Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири. Рыбинск, Рыбинский Дом печати, 70 с.

Генкал С.И., Митрофанова Е.Ю., Куликовский М.С. 2013. Морфометрическая изменчивость, таксономия и распространение Cyclotella Bodanica Eulenstein (Bacillariophyto) в России. Биология внутренних вод, 2: 3–15. https://doi.org/10.1134/S1995082913010057

Григорьев С.В. 1959. О некоторых определениях и показателях в озероведении. Труды Карельского филиала АН СССР, 18: 29–45.

Давыдова Н.Н. 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л., Наука, 244 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). 1992. СПб., Наука, Т. II, Вып. 2, 125 с.

Долматова Л.А. 2008. Гидрохимический режим Телецкого озера. В кн.: О состоянии и развитии сети особо охраняемых территорий в Республике Алтай. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летнему юбилею Алтайского заповедника, Горно-Алтайск, Яйлю, 20–23 сентября 2007. Горно-Алтайск, Петровская академия наук и искусств: 72–80.

Долматова Л.А. 2011. Особенности гидрохимического режима Телецкого озера в период осеннего охлаждения. Мир науки, культуры, образования, 6–2(31): 417–423.

Иванов П.В. 1948. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине. Бюллетень ЛГУ, 20: 29–36.

Киприянова Л.М., Вишняков В.С., Романов Р.Е., Гопоненко А.Ю. 2024. К разнообразию и экологии сообществ харовых водорослей озер горного Алтая. Растительность России, 49: 124–138. https://doi.org/10.31111/vegrus/2024.49.124

Китаев С.П. 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 394 с.

Курлов М.Г. 1928. Классификация сибирских целебных минеральных вод. Томск, Издание Физиотерапевтического института, 73 с.

Митрофанова Е.Ю. 2009. Подледный фитопланктон мелководного Манжерокского озера (Горный Алтай, Россия). Мир науки, культуры и образования, 5(17): 16–19.

Митрофанова Е.Ю., Сутченкова О.С. 2014. Диатомовые водоросли в донных отложениях глубокого озера Телецкое (Алтай, Россия) как индикаторы экологических условий в последние 2000 лет. Мир науки, культуры и образования, 5(48): 321–326.

Михайлов Н.Н. 1994. Озера Алтая, их происхождение и история. География и природопользование Сибири, 1: 75–89.

Новиков И.С. 2004. Морфотектоника Алтая. Новосибирск, Манускрипт, 313 с.

Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Горбачев И.В. 2008. Нитраты и нитриты в поверхностных и подземных водах Алтая. Мир науки, культуры, образования, 2(9): 19–22.

Рудая Н.А. 2022. Природные условия раннего голоцена Алтая (по данным из палеозаписей озер). Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий, 28: 251–256.

Селегей В.В., Селегей Т.С. 1974. Телецкое озеро. Л., Гидрометеоиздат, 80 с.

Фролова Н.Л., Повалишникова Е.С., Ефимова Л.Е. 2011. Комплексные исследования водных объектов Горного Алтая (на примере бассейна р. Мульты) – 75 лет спустя. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2: 113–126.

Чернова Г.М., Михайлов Н.Н., Денисенко В.П., Козырева М.Г. 1991. Некоторые вопросы палеогеографии голоцена юго-западного Алтая. Известия всесоюзного географического общества, 123(2): 140–146.

Шпилекова Н.Е. 1980. Морфометрические особенности озер горного Алтая. В кн.: Природные ресурсы Горного Алтая и их хозяйственное использование. Барнаул, БГПИ: 22–27.

Andreev A.A., Pierau R., Diekmann B., Kalugin I.A., Daryin A.V., Smolyaninova L.G. 2007. Environmental Changes in the Northern Altai During the Last Millenium Documented in Lake Teletskoye Pollen Record. Quaternary Research, 67(3): 394–399. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.11.004

Blyakharchuk T.A., Wright H., Borodavko P.S., Knaap W.O.V.D., Ammann B. 2004. Late Glacial and Holocene Vegetational Changes on the Ulagan High-Mountain Plateau, Altai Mountains, Southern Siberia. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 209(1–4): 259–279. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.011

Blyakharchuk T.A., Wright H., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. 2007. Late Glacial and Holocene Vegetational History of the Altai Mountains (Southwestern Tuva Republic, Siberia). Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 245(3–4): 518–534. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.010

Blyakharchuk T.A., Wright H., Borodavko P.S., Knaap W.O.V.D., Ammann B. 2008. The Role of Pingos in the Development of the Dzangyskol Lake-Pingo Complex, Central Altai Mountains, Southern Siberia. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 257(4): 404–420. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.09.015

Karachurina S., Rudaya N.A., Frolova L.A., Kuzmina O., Cao X., … Pestryakova L.A. 2023. Terrestrial Vegetation and Lake Aquatic Community Diversity Under Climate Change During the Mid-Late Holocene in the Altai Mountains. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 623: 111623. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111623

Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. New York, Cambridge University Press, 747 p.

Rudaya N., Kuzmina O., Frolova L., Nazarova L., Nigmatullin N., … Darin A. 2025. Holocene Environments and the Forest Dynamics Enigma in the arid Altai Highlands. Quaternary Science Reviews, 367: 109548. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2025.109548

Schlutz F., Lehmkuhl F. 2007. Climatic Change in the Russian Altai, Southern Siberia, Based on Palynological and Geomorphological Results, with Implications for Climatic Teleconnections and Human History Since the Middle Holocene. Vegetation History and Archaeobotany, 16(2): 101–118. https://doi.org/10.1007/S00334-006-0073-7

Vnukovskaya Yu.D., Kuzmina O.B., Rudaya N.A. 2024. Local Environmental Conditions of Lake Balyktukel (Russian Altai) in the Holocene from Non-Pollen Palynomorphs. Paleontological Journal, 58(7): 841–850. https://doi.org/10.1134/S0031030124600501

Westover K.S., Fritz S.C., Blyakharchuk T.A., Wright H.E. 2006. Diatom Paleolimnological Record of the Holocene Climatic and Environmental Change in the Altai Mountains, Siberia. Journal of Paleolimnology, 35(3): 519–541. https://doi.org/10.1007/s10933-005-3241-3

References

Blyakharchuk T.A. 2008. Reconstructing the Vegetation of Forest and Alpine-Steppe Landscapes in the Southwestern Part of Tuva Since the Late Glacial Period Till the Present. Geography and Natural Resources, 29(1): 57–62 (in Russian). https://doi.org/10.1016/j.gnr.2008.04.011

Blyakharchuk T.A., Mitrofanova E.Yu., Eirikh A.N. 2015. Integrated Palaeoecological Investigation of Bottom Sediments from Lake Manzherokskoye in the Piedmont Altai Region. Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 9: 81–99 (in Russian). https://doi.org/10.17076/lim166

Borodina E.V., Borodina U.O. 2019. Water Chemistry Formation in Lakes of Specially Protected Natural Areas in the Altay Mountains: Case Study of the Mul'ta River. Water Resources, 46(4): 582–594 (in Russian). https://doi.org/10.1134/S0097807819040055

Vesnina L.V., Lukerina G.V., Ronzhina T.O. 2019. Results of Long-Term Environmental Monitoring of the Hypervalent Bolshoe Yarovoe Lake, Slavgorod, Altai Region. Fisheries, 4: 19–27 (in Russian).

Genkal S.I., Bondarenko N.A., Shhur L.A. 2011. Diatomovye vodorosli ozer yuga i severa Vostochnoy Sibiri [Diatoms of Lakes in the South and North of Eastern Siberia]. Rybinsk, Pabl. Rybinskiy Dom pechati, 70 p.

Genkal S.I., Mitrophanova E.Y., Kulikovskiy M.S. 2013. Morphological Variability, Taxonomy, and Distribution of Cyclotella Bodanica Eulenstein (Bacillariophyta) in Russia. Inland Water Biology, 6(2): 85–97 (in Russian). https://doi.org/10.1134/S1995082913010057

Grigoriev S.V. 1959. O nekotoryh opredeleniyah i pokazatelyah v ozerovedenii [On Some Definitions and Indicators in Limnology]. Trudy Karelskogo filiala AN SSSR, 18: 29–45.

Davydova N.N. 1985. Diatoms as Indicators of Holocene Lake Environments. Leningrad, Pabl. Nauka, 244 p.

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye) [Diatoms of the USSR (Fossil and Modern)]. 1992. Saint Petersburg, Pabl. Nauka, Vol. II, Is. 2, 125 p.

Dolmatova L.A. 2008. Gidrohimicheskiy rezhim Teleckogo ozera [Hydrochemical Regime of Lake Teletskoye]. In: O sostoyanii i razvitii seti osobo ohranyaemyh territoriy v Respublike Altay [On the Status and Development of the Network of Specially Protected Areas in the Altai Republic]. Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Altai Nature Reserve, Gorno-Altaisk, Yailu, 20–23 September 2007. Gorno-Altaisk, Pabl. Petrovskaya akademiya nauk i iskusstv: 72–80.

Dolmatova L.A. 2011. The Peculiarities of Hydrochemical Regime of Lake Teletskoye During Its Autumn Cooling. The world of science, culture and education, 6–2(31): 417–423 (in Russian).

Ivanov P.V. 1948. Klassifikaciya ozer mira po velichine i po ih sredney glubine [Classification of Lakes of the World by Size and by Their Average Depth]. Bulleten LGU, 20: 29–36.

Kipriyanova L.M., Vishnyakov V.S., Romanov R.E., Goponenko A.Yu. 2024. On the Diversity and Ecology of Charophyte Communities in Lakes of the Altai Mountains. Vegetation of Russia, 49: 124–138 (in Russian). https://doi.org/10.31111/vegrus/2024.49.124

Kitaev S.P. 2007. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtiologov [Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists]. Petrozavodsk, Pabl. Karelskiy nauchniy centr RAN, 394 p.

Kurlov M.G. 1928. Klassifikaciya sibirskih celebnyh mineralnyh vod [Classification of Siberian Healing Mineral Waters]. Tomsk, Pabl. Izdanie Fizioterapevticheskogo institute, 73 p.

Mitrofanova E.Yu. 2009. Under-the-Ice Phytoplankton of Shalow Lake Manzherokskoye, Gorny Altai, Russia. The world of science, culture and education, 5(17): 16–19 (in Russian).

Mitrofanova E.Yu., Sutchenkova O.S. 2014. Diatomic Algae in the Bottom Sediments of Lake Teletskoye (Altai, Russia) as Indicators of Environmental Conditions During the Last 2000 Years. The world of science, culture and education, 5(48): 321–326 (in Russian).

Mihaylov N.N. 1994. Ozera Altaya, ih proishozhdenie i istoriya [Altai Lakes, Their Origin and History]. Geografiya i prirodopolzovanie Sibiri, 1: 75–89.

Novikov I.S. 2004. Morfotektonika Altaya [Morphotectonics of Altai]. Novosibirsk, Pabl. Manuskript, 313 p.

Rozhdestvenskaya T.A., Puzanov A.V., Gorbachev I.V. 2008. Nitrates and Nitrites in the Surface and Ground Water of Altai. The world of science, culture and education, 2(9): 19–22 (in Russian).

Rudaya N.A. 2022. Early Holocene Environments in Altai (Based on the Paleodata from Lake Sediments). Problems of archaeology, ethnography, anthropology of Siberia and neighboring territories, 28: 251–256 (in Russian).

Selegey V.V., Selegey T.S. 1974. Teleckoe ozero [Lake Teletskoye]. Leningrad, Pabl. Gidrometeoizdat, 80 p.

Frolova N.L., Povalishnikova E.S., Efimova L.E. 2011. Complex Study of Water Objects of Mountain Altay (on Example of Multa River Basin). Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2: 113–126 (in Russian).

Chernova G.M., Mihaylov N.N., Denisenko V.P., Kozyreva M.G. 1991. Nekotorye voprosy paleogeografii golocena ugo-zapadnogo Altaya [Some Issues of Holocene Paleogeography of Southwestern Altai]. Izvestiya vsesouznogo geograficheskogo obshhestva, 123(2): 140–146.

Shpilekova N.E. 1980. Morfometricheskie osobennosti ozer gornogo Altaya [Morphometric Features of the Lakes of the Altai Mountains]. In: Prirodnye resursy Gornogo Altaya i ih hozaistvennoe ispolzovanie [Natural Resources of Gorny Altai and Their Economic Use]. Barnaul, Pabl. BGPI: 22–27.

Andreev A.A., Pierau R., Diekmann B., Kalugin I.A., Daryin A.V., Smolyaninova L.G. 2007. Environmental Changes in the Northern Altai During the Last Millenium Documented in Lake Teletskoye Pollen Record. Quaternary Research, 67(3): 394–399. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.11.004

Blyakharchuk T.A., Wright H., Borodavko P.S., Knaap W.O.V.D., Ammann B. 2004. Late Glacial and Holocene Vegetational Changes on the Ulagan High-Mountain Plateau, Altai Mountains, Southern Siberia. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 209(1–4): 259–279. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.011

Blyakharchuk T.A., Wright H., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. 2007. Late Glacial and Holocene Vegetational History of the Altai Mountains (Southwestern Tuva Republic, Siberia). Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 245(3–4): 518–534. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.010

Blyakharchuk T.A., Wright H., Borodavko P.S., Knaap W.O.V.D., Ammann B. 2008. The Role of Pingos in the Development of the Dzangyskol Lake-Pingo Complex, Central Altai Mountains, Southern Siberia. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 257(4): 404–420. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.09.015

Karachurina S., Rudaya N.A., Frolova L.A., Kuzmina O., Cao X., … Pestryakova L.A. 2023. Terrestrial Vegetation and Lake Aquatic Community Diversity Under Climate Change During the Mid-Late Holocene in the Altai Mountains. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 623: 111623. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111623

Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. New York, Cambridge University Press, 747 p.

Rudaya N., Kuzmina O., Frolova L., Nazarova L., Nigmatullin N., … Darin A. 2025. Holocene Environments and the Forest Dynamics Enigma in the arid Altai Highlands. Quaternary Science Reviews, 367: 109548. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2025.109548

Schlutz F., Lehmkuhl F. 2007. Climatic Change in the Russian Altai, Southern Siberia, Based on Palynological and Geomorphological Results, with Implications for Climatic Teleconnections and Human History Since the Middle Holocene. Vegetation History and Archaeobotany, 16(2): 101–118. https://doi.org/10.1007/S00334-006-0073-7

Vnukovskaya Yu.D., Kuzmina O.B., Rudaya N.A. 2024. Local Environmental Conditions of Lake Balyktukel (Russian Altai) in the Holocene from Non-Pollen Palynomorphs. Paleontological Journal, 58(7): 841–850. https://doi.org/10.1134/S0031030124600501

Westover K.S., Fritz S.C., Blyakharchuk T.A., Wright H.E. 2006. Diatom Paleolimnological Record of the Holocene Climatic and Environmental Change in the Altai Mountains, Siberia. Journal of Paleolimnology, 35(3): 519–541. https://doi.org/10.1007/s10933-005-3241-3

Поступила в редакцию 10.12.2025;
поступила после рецензирования 25.01.2026;
принята к публикации 29.01.2026

Received December 10, 2025;
Revised January 25, 2026;
Accepted January 29, 2026

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Попова Диана Николаевна, старший преподаватель эколого-географического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Левина Сардана Николаевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник эколого-географического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Пестрякова Людмила Агафьевна, доктор географических наук, доцент, г.н.с. эколого-географического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Рудая Наталия Алексеевна, доктор географических наук, старший научный сотрудник, Институт археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Diana N. Popova, Senior Lecturer at the Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Sardana N. Levina, Candidate of Sciences in Geography**,** Senior Researcher at the Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Ludmila A. Pestryakova, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher at the Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Natalia A. Rudaya, Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher at the Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia